CONTENIDO





PREFACIO

Como resultado del proceso de la Licitación Pública Internacional No. 82/2009: Servicios de Consultoría para la Elaboración de las Normas Técnicas Generales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Caminos, Programa de Corredores de Integración del Occidente, Préstamo BID No. 1278/OC-PR, en fecha 04 de Agosto de 2009 se firmó el Contrato S.G. MINISTRO No. 149/2009, suscrito entre el MOPC - Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (CONTRATANTE) y la Empresa Consultora CAEM LTDA -Centro de Asesoramiento Empresarial Multidisciplinario (CONSULTOR).

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia del Servicio de Consultoría, el Estudio se realizó en cuatro etapas (Módulos), donde al final de cada módulo se efectuaron presentaciones públicas del desarrollo de la Consultoría y los resultados parciales se pusieron en conocimiento de los actores viales de la República del Paraguay, tanto a nivel del sector público, sector privado, de las entidades profesionales, entidades académicas, así como de la sociedad civil.

Cada etapa contó con las recomendaciones, sugerencias y aportes de los diversos sectores de la sociedad vial del país.

Luego del extenso periodo desarrollado por la propia consultoría, las consultas y revisiones del MOPC y de la sociedad ingenieril, así como por el proceso de sociabilización del estudio, hoy el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay tiene la satisfacción de publicar el presente Manual que contiene el conjunto de Guías, Normas y Especificaciones de todos los componentes que conforman la problemática técnica en el campo vial.

El presente Manual pretende ser un primer documento que ofrece las herramientas necesarias a las autoridades, consultores, constructores, académicos y profesionales de la ingeniería vial, para el uso correcto de los diferentes dispositivos para la regulación de los diseños y la ejecución de los proyectos de carreteras en el país.

Este documento de consulta debe ser normado por el Ministerio para su aplicación en el desarrollo de todos los proyectos viales en cada una y todas sus etapas: diseño, construcción, mantenimiento, fiscalización y correspondiente evaluación.

El presente Manual debe utilizarse como material de consulta y guía para los usuarios de las carreteras del país, para las entidades responsables de la infraestructura vial y las autoridades de tránsito nacionales, departamentales, distritales y municipales, para profesionales de la ingeniería vial, constructores, consultores y proveedores de materiales de construcción y mantenimiento vial.

En este Manual se establecen las especificaciones y normas para el diseño, construcción, mantenimiento y fiscalización de las obras viales donde su utilización debe ser la base para procesar un estudio de ingeniería vial identificado como proyecto donde tiene relevante importancia el juicio del ingeniero que lo elabora.

Este documento busca proporcionar a las autoridades responsables del desarrollo vial, la forma correcta de utilizar los diferentes dispositivos para la concreción de las vías públicas. Las recomendaciones que brinda esta guía no deben influir sobre el juicio profesional, sino que deben usarse como información base parcial, justificando convenientemente las modificaciones que sean introducidas en cada proyecto específico.

Dentro de los principales objetivos planteados para la ejecución del servicio de consultoría para la elaboración de estas Guías, Normas y Especificaciones requerido por el MOPC, se citan los siguientes:

- Diagnóstico de la situación vigente al inicio del servicio relacionado con el uso de normas técnicas generales de diseño, construcción, mantenimiento y evaluación de Caminos en la República del Paraguay.
- Recopilación y análisis del conjunto de normas técnicas internacionales relacionadas con el Diseño, construcción, mantenimiento y evaluación de caminos, aplicables a las condiciones y características de la infraestructura vial de la República del Paraguay.
- Desarrollo de un Manual único con guías, normas y especificaciones técnicas de los rubros más usuales e importantes en evaluación, diseño, construcción, mantenimiento, y fiscalización de caminos.
- Unificación de las especificaciones técnicas en uso en el país, dándole un criterio único de interpretación a la ejecución de los diversos servicios viales, métodos de medición y forma de pago.
- Difusión de las especificaciones técnicas que se vayan elaborando, con consultadas periódicas al conjunto de actores relacionados de una u otra forma al diseño,
- Construcción y mantenimiento de caminos, tales como entidades del sector público relacionadas con la temática vial (MOPC), Municipalidades, Institutos Técnicos, Universidades, Empresas de Construcción, Empresas de Consultoría, Proveedores de materiales para la construcción y mantenimiento de caminos, entre otros.

El objetivo fue establecer un documento técnico y administrativo, que deberá, con la oportunidad del caso ser establecido por el MOPC a nivel de carácter normativo, que sirva de guía a las diferentes acciones que son de competencia técnica del Contratante, fijando políticas, criterios, procedimientos y métodos que indiquen las condiciones para:

- Cumplir en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de proyectos viales.
- Propender a uniformar el desarrollo de los procedimientos técnicos de rigor en Estudios, Construcción y Mantenimientos de proyectos viales.

De esta manera se pretende lograr cierta homogeneidad en los procedimientos, independiente del profesional o técnico que realice la labor.

Esta primera versión del Manual de Carreteras del Paraguay debe ser continuamente revisada, complementada y actualizada mediante la publicación de complementos, suplementos y comentarios a cargo del MOPC. Ha sido elaborado y procesado tomando como base y referencia inicial normas internacionales en vigencia en varios países del mundo, y en particular de países de Sudamérica - con particular énfasis a la normativa de los países limítrofes al Paraguay, sin embargo el producto generado corresponde a un documento con todos sus rubros y contenido que se adecua a las necesidades y demandas del país, lográndose un documento propio y estandarizado para las condiciones de la Red Vial del Paraguay, existente y a ser desarrollada en el inmediato futuro.

El presente Manual está dirigido a la siguiente clasificación general de carreteras - de acuerdo a la definición de la red vial del Paraguay:

- Red Primaria constituida por las Rutas Nacionales.
- Red Secundaria constituida por las Rutas Departamentales.
- Red Terciaria constituida por las Rutas Rurales y Municipales.
- Red Vecinal constituida por las Rutas Vecinales

El Manual de Carreteras de Paraguay se halla conformado en 8 Tomos compuesto por 15 Volúmenes, que contienen la siguiente información:

Tomo No.1: Normas para la evaluación de proyectos y geometría vial.

Volumen I : Guía para la evaluación de proyectos

Volumen II: Diseño geométrico

Tomo No. 2: Norma para la Estructura del Pavimento

Volumen I: Guía para el diseño estructural de pavimentos y banquinas Volumen II: Especificaciones para la construcción del pavimento

Tomo No. 3: Normas para Obras de Drenaje Vial

Volumen I: Normas para Obras de Drenaje Vial

Tomo No. 4: Normas para Estructuras y Puentes

Volumen I : Guía para el diseño de estructuras y puentes

Volumen II: Especificaciones para la construcción de estructuras y puentes Volumen III: Especificaciones para el diseño de estructuras y puentes

Tomo No. 5: Normas para Señalización y Seguridad Vial

Volumen I: Señalización vertical Volumen II: Señalización horizontal

Tomo No. 6: Normas para Materiales y Ensayos de Materiales

Volumen I: Suelos Volumen II: Asfalto Volumen III: Hormigón

Tomo No. 7 Normas y Especificaciones para Mantenimiento de Obras

Volumen I: Normas y especificaciones para mantenimiento de obras

Tomo No. 8: Medio Ambiente y Fiscalización de Obras

Volumen I: Especificaciones técnicas ambientales

Volumen II: Fiscalización de obras

El presente Tomo es parte del Manual y corresponde al:

Volumen I - Suelos

Tomo 6 - Normas para Materiales y Ensayos de Materiales

RECONOCIMIENTOS

En el desarrollo de los manuales trabajaron los siguientes profesionales:

Coordinador General del Proyecto: Ing. Juan Carlos Gottret Arce Coordinador Adjunto del Proyecto: Lic. Fabiola Quiroz Demmler Especialista en Evaluación de Proyectos: Ing. Primitivo Condarco Aguilar Especialista Vial: Ing. Dante Nardelli (+) Especialista Geométrico: Ing. Luis Caballero Ing. Juan Hurtado Especialista en Pavimentos: Ing. Arquímedes Delgado Especialista Hidrología y Drenajes: Ing. Pedro Gaete Especialista en Estructuras: Ing. Julio Álvarez Especialista en Señalización y Seguridad Vial: Ing. Roberto Montoya Ing. Willy Vargas Especialista en Materiales y Laboratorio: Ing. Raúl Zegarra Ríos Ing. Juan Carlos Bernie Especialista en Dirección de Obras Ing. Arquímedes Delgado Ing. Walter Pospischill Especialista Ambiental Vial: Ing. Luis Cabello Especialista en Mantenimiento: Ing. Roberto Jerez Jaimes Ing. Willy Vargas Ing. Walter Pospischill Especialista Geotécnica: Ing. Juan Carlos Bernie Asesores: Ing. Jhonny Cusicanqui Giles Ingenieros de Apoyo: Ing. Walter Pospischill Arq. Adolfo Correa Paniagua Apoyo Técnico: Lic. Carlos Martínez Daihana Quintana

Dibujo, Diseño y Diagramación:

Esther Mendoza

En la revisión de los manuales participaron por parte del MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES:

Director de la Dirección de Vialidad (2009) Ing. Jorge Vázquez

Encargado de Despacho de la Dirección de Vialidad (2010) Ing. Félix Zelaya

Director de la Dirección de Vialidad (2011) Ing. Fabio Riveros

Coordinador de la UEP BID Nº 1278 (2009) Ing. Roberto Bogado

Coordinador de la UEP BID № 1278 (2010) Ing. Fernando Rodríguez

Supervisores:

Área de Diseño y Construcción Caminos Vecinales Ing. Alfredo Bordón

Área de Diseño y Construcción Caminos Pavimentados Ing. Hugo Miranda

Área de Mantenimiento Ing. Juan Carlos Balbuena

Ing. Nelson Rivet

Área Seguridad Vial Ing. José Gómez

Área Socio – Ambiental Ing. Agr. Francisco Fracchia

Arq. José María Valdez

Equipo Técnico de Revisión del Informe Final:

Área de Mantenimiento Vial – GMANS Ing. Natalia Drozdova

Ing. Javier Talia

Área de Evaluación de Proyectos Ing. Malvina Duarte

Área de Mantenimiento Vial – Precios Unitarios Ing. Fernando Rodríguez

Área de Estructura de Pavimentos Ing. Nelson Figueredo

Área de Estructura de Puentes Sr. César Bolla

Área de Hidráulica e Hidrología Ing. Roger Monte Domecq

Área de Diagramación y Control Ing. René Obando

INDICE

INTRO	DUCCIÓN	.12
GLOSA	RIO DE TÉRMINOS	.13
CAPÍTU	10 DE TÉRMINOS	
	CAPÍTULO S0101 - DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL) (ASTM D2488)	
	CAPÍTULO S0102 - RECOMENDACIONES GENERALES PARA SUELOS Y SUS APLICACIONES COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
		20
CAPÍTU	JLO S02 NORMAS Y PROCEDIMIENTOS EN LA PREPARACIÓN, TOMA Y TRANSPORTE DE MUESTRAS	22 aL) a420 a36 aRED RICO TM
	CAPÍTULO S0201 - CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D4220)	
	CAPÍTULO S0202 -PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS POR CUARTEC)
	CAPÍTULO S0203 - OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA PROBETAS DE ENSAYO MEDIANTE TUBOS DE PAR DELGADA (ASTM D1587 AASHTO T207)	
	Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D421 ASTM D2217 AASHTO T87)	Ю.
	CAPÍTULO S0205 - PREPARACIÓN DE MUESTRAS HÚMEDAS DE SUELO PARA ANÁLISIS	
	CAPÍTULO S0206 - PERFORACIÓN CON BROCAS DE DIAMANTE PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO	
	CAPÍTULO S0207 - MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE TUBO CON CAMISA INTERIOR DE ANILLOS (ASTN	Л
	CAPÍTULO S0208 - INVESTIGACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTEBARRENAS CON VÁSTAGO	
	CAPÍTULO S0209 - MÉTODO DE PENETRACIÓN NORMAL Y MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS	
	CAPÍTULO S0210- TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO NLT 203)84	
CAPÍTU	JLO S03 ENSAYOS RELACIONADOS A LA CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	.87
	CAPÍTULO S0301 - DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE	
	CAPÍTULO S0304 - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D4318 AASHTO T89)	
	CAPÍTULO S0305 - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD	
	CAPÍTULO S0306 - DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS (ASTM D4:	27
	CAPÍTULO S0307 - DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS SUELOS	
	(ASTM D854 AASHTO T100)	
	CAPÍTULO S0309 - DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO EN SUELOS MEDIANTE PÉRDIDA	
	POR IGNICIÓN (AASTHO T267)	
	CAPÍTULO S0311 - DETERMINACIÓN DEL PH DE LOS SUELOS (ASTM G51)	

ULO SO4 ENS	AYOS RELACIONADOS A LA COMPACTACIÓN Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS	•••••
	0401 - ENSAYO DE COMPACTACIÓN CONSIDERANDO FAMILIAS DE CURVAS MÉTO NTO (AASHTO T272)	
	0402 - RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN SUELOS — MÉTODO ESTÁNDA	
	98 AASHTO T99)	
	0403 - RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN LOS SUELOS — MÉTODO MOD	
	TM D422 AASHTO T180)	
	0404 - DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORA	
	R DE LABORATORIO) (ASTM D1883 AASHTO T193)	
	0405 - DETERMINACIÓN DEL VALOR DE RESISTENCIA R Y DE LA PRESIÓN DE EXPA	
	ELOS COMPACTADOS (ASTM D2844 AASHTO T190)	
	0406 - MEDICIONES DE LA PRESIÓN DE POROS (AASHTO T252)	
	0407 - CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS (ASTM D2435 AASHTO T216).	
	0408 - COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D2126 AAS	
	18)	
	0409 - PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAX	
	350 AASHTO T234)	•
	0410 - Determinación de la resistencia al corte método de corte direc	
	INSOLIDADO DRENADO) (ASTM D3080 AASHTO T236)	•
	0411 - RESISTENCIA NO DRENADA EN ESPECÍMENES DE ROCAS MEDIANTE COMP	
	AXIAL SIN MEDIR PRESIONES DE POROS (ASTM 2664 AASHTO T 226)	
	0412 - MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUB-RASANTE (AASHTO T224)	
	0413 - DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO CON EL MÉTODO DEL PA	
	TRO (AASHTO T273)	
	D5 ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Y MONITOREO "IN SITU" (ENSAYOS DE CAMPO)	
CAPÍTULO S	0502 - VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO, MÉTODO I INDRO PENETRANTE (AASHTO T204)	DEL
	0503 - DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN SUELOS MEDIANTE UN PROBADOR	
	RBURO DE CALCIO (SPEEDY) (AASHTO T217)	
	0504 - ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETIDA, PARA EMPLEAR EN	
	ALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO T222)	
	0505 - ENSAYO DE PLACA DE CARGA REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓ	
	EÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (AASHTO T221)	
	0506 - PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO. MÉTODO DEL BALÓN DE CAU	
	167 AASHTO T205)	•
	0507 - PESO UNITARIO DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO MED	
	TODOS NUCLEARES (ASTM 2922 AASHTO T238)	
	0508 - DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EQUIVALENTE DE SUELOS EN EL TERRE	
	SHTO T93)	
	0509 - TASA DE INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL TERRENO EMPLEANDO INFILTRÓM	
	ILLO DOBLE (ASTM D3385)	
	0510 - RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO(CBR "IN SITU") (ASTM	
	3310 - NELACION DE 301 ONTE DEE 30EE0 EN EL TERRENO(CBR 117 3170) (A3170	
	D511 - ENSAYO DE CORTE SOBRE SUELOS COHESIVOS EN EL TERRENO, USANDO L	
	SHTO T223)	
	D512 - INSTALACIÓN, MONITOREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE INCLINÓME	
	CORRIDO PARA TALUDES (AASHTO T254)	
JLO SO6	MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO -	
	IÓN CCIDENTAL O CHACO	
	0601 - RESISTENCIA DE MEZCLAS DE SUELO CAL (AASHTO T220)	
	0602 - DETERMINACIÓN POR TITULACIÓN DEL CONTENIDO DE CAL EN SUELOS TR	
CC	N CAL (AASHTO T232)	432

MEZCLAS DE SUELO- CAL (ASTM D3877)		IN
CAPÍTULO S07 MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO — CEMEI ÉNFASIS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL O CHACO	-	
CAPÍTULO S0701 - MÉTODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO CAPÍTULO S0702 - MÉTODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO CAPÍTULO S0703 - MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACIÓ MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO	461 N EN 465 94601)	
CAPÍTULO S0705 - RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO D558)CAPÍTULO S0706 - HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACT (ASTM D559 AASHTO T135)	482 ADAS	
CAPÍTULO S0707 - PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO (AS D1632)	TM 498	
CAPÍTULO S0708 - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO CEI (ASTM D1633)CAPÍTULO S0709 - CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS FRESCAS DE SUELO CEMENTO (AST	504)
D2901)CAPÍTULO S0710 - CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS ENDURECIDAS DE SUELO-CEMENTO D806 AASHTO T144)	O (AST	M
CAPÍTULO S08 OTROS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS		.521
CAPÍTULO S0801 - DOSIFICACIÓN Y ENSAYO DE MEZCLAS DE SUELO-EMULSIÓN (NTL 170)	521	
BIBLIOGRAFÍA		530

INTRODUCCIÓN

El presente Volumen está referido a **Suelos y agregados**, dentro del Tomo 6 "NORMAS PARA MATERIALES Y ENSAYOS DE MATERIALES", correspondiente a las normas y requisitos esenciales para la determinación de los materiales a incorporar como parte de los diferentes elementos que son utilizados en obras viales encaradas por el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones, en la República del Paraguay, así como a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con esos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar "in situ" las propiedades y características de los materiales y de las obras a ser ejecutadas y del glosario de términos más comunes.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial, los ensayos de laboratorio deben ajustarse exactamente a procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos, obliga a anular el resultado obtenido, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

Las normas están referidas en capítulos que abarcan todos los ensayos de suelos relacionados a su utilización en obras viales; los métodos preliminares de descripción, procedimientos de preparación, toma y trasporte de muestras, clasificación y caracterización, compactación y resistencia, verificación y monitoreo de campo, modificación y estabilización de suelos con mezclas de suelo cal, cemento y otros estabilizadores principalmente para su utilización en la región occidental del país. El contenido de este manual es una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados. En el título de cada método se incluyó el nombre de las normas base.

Cada norma de ensayo correspondiente incluye detalles del **objeto**, **equipos y materiales**, **extracción y preparación de la muestra**, **procedimientos**, **cálculos**, **precisión** – **repetitividad y reproducibilidad** – **observaciones**, **sesgo**, **figuras y notas**. Algunos ensayos más importantes también cuenta con detalles específicos en la parte final de este volumen.

GLOSARIO DE TÉRMINOS



Acopio.- Acumulación planificada de materiales destinados a la construcción de una obra.

Aditivos (estabilización química de suelos) Productos de origen natural o químico que se mezclan con los suelos con el propósito de estabilizarlos. Normalmente producen una cementación, aumentan la capacidad de soporte y la impermeabilización.

Agua Libre (suelos).- Agua presente en un suelo que se puede evacuar por la acción de la gravedad, mediante un sistema de drenaje subterráneo.

Análisis Hidrométrico (suelos).- Método para determinar el tamaño de las partículas más pequeñas de un suelo (normalmente menores que 0,08 mm), basado en la velocidad de sedimentación en un líquido.

Aparato Casagrande. Taza de bronce con una masa de 200 ± 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90%.

Arcilla.- Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y que, secado al aire, adquiere una resistencia importante.

Arena.- Material resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas pasan por el tamiz de 5 mm y son retenidas por el de 0,08 mm.

Asentamiento de Suelos.- Descenso vertical de la superficie del terreno o del terraplén, debido a la consolidación o fallas del suelo.



Base Granular.- Ver Base no Ligada.

Base no Ligada.- Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros.

Base Tratada con Cemento. - Los materiales para BTC deberán cumplir con lo establecido en SO701, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

Bloque.- Fragmento de roca mayor a 300 mm.

Bolón.- Fragmento de roca entre 80 y 300 mm.

Broca.- Dispositivo metálico construido en acero, de forma tubular, con corona de corte diamantada y habitualmente refrigerado por agua, que se emplea para cortar testigos. Existen de diferentes diámetros y longitudes, para diversos usos y requerimientos.

C

Calicata.- Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, caminos, etc., para determinar, identificar y clasificar los materiales constituyentes de los suelos de fundación, a través de estratigrafía y ensayes.

CBR.- El índice CBR (Razón de Soporte de California) es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min., para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

Clínquer.- Producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio hidráulico, que se obtiene por calcinación hasta la fusión (1400 − 1500 °C) de una mezcla proporcionada de minerales calizos y arcillosos.

Coeficiente de Curvatura de un Suelo.- Coeficiente que evalúa la regularidad de la curva granulométrica, la cual representa la distribución por tamaño de las partículas de una muestra de suelo. Este coeficiente se determina como:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{, en que: } D_{X\!X} \quad \text{= tamaño según curva granulométrica para el cual pasa X} \\ \text{\% del material.}$$

Coeficiente de Uniformidad de un Suelo.- Coeficiente que se emplea para saber el tipo de graduación de un suelo: Este coeficiente se determina como:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
 , en que $D_{X\!X}$ =Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa X % del material.

Cohesión (suelo).- Fuerza de unión entre las partículas de un suelo, cuya magnitud depende de la naturaleza y estructura del mismo. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido deminerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos.

Compacidad de un Suelo.- Grado de compactación o densidad natural de un suelo no cohesivo, que depende del acomodo alcanzado por las partículas de éste.

Compactación (suelo).- Operación mecanizada para reducir el índice de huecos de un suelo y alcanzar con ello la densidad deseada.

Compresibilidad de un Suelo.- Deformación que experimenta un suelo producto de la relación variable que experimentan las fases de que está compuesto. Esta deformación no siempre es proporcional al esfuerzo aplicado, cambiando con el tiempo y con el medio.

Compresión.- Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.

Cono de Arena.- Es un aparato medidor de volumen, provisto de una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, que controla el llenado de un cono de 6" de diámetro y 60º de ángulo basal. Un extremo termina en forma de embudo y su otro extremo se ajusta a la boca de un recipiente de aproximadamente 5 l de capacidad. La válvula debe tener topes que permitan fijarla en su posición completamente cerrada o completamente abierta. El aparato debe llevar una placa base.

Consistencia de un suelo.- Grado de adherencia entre las partículas del suelo y su resistencia a fuerzas que tienden a deformarlo o romperlo. Se describe por medio de términos como: blanda, media, firme, muy firme y dura.

Consolidación.- Reducción de los índices de vacíos de un suelo, a consecuencia de la expulsión del agua y aire intersticiales, mediante la aplicación de cargas durante un lapso determinado.

Cordón (suelos).- Acopio de material granular, dispuesto longitudinalmente en la faja de un camino, de sección aproximadamente trapezoidal y cuyas dimensiones dependen del espesor compactado exigido a la capa a extender.

Cuarteo.- Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensaye a realizar.

Curva de Saturación.- Curva que relaciona la densidad seca de un suelo con la humedad de saturación de éste, para una densidad de partículas sólidas dada.

D

Deflexión (suelos).- El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

Densidad (suelos).- Cociente entre la masa de un suelo y su volumen a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad Compactada Húmeda.- Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa húmeda por su volumen.

Densidad Compactada Seca.- Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa seca por su volumen.

Densidad de Partículas Sólidas.- Cociente entre la masa sólida de un suelo y el volumen sólido del mismo, siendo el volumen sólido la diferencia entre el volumen total y la suma de los volúmenes líquidos y gaseosos.

Densidad Máxima (Suelos).- Densidad de un suelo en el estado más denso que se puede obtener aplicando el ensaye normalizado.

Densidad Máxima Compactada Seca.- Corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima. Se determina mediante el *Método S0402*.

Densidad Mínima (Suelos).- Densidad de un suelo en el estado más suelto que se puede obtener aplicando el ensaye normalizado.

Densidad Neta.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Densidad Relativa.- Grado de compacidad de un suelo con respecto a los estados más sueltos y más densos obtenidos mediante procedimientos de laboratorio normalizados. Ver *Método S0403*.

Dosímetro.- Aparato o dispositivo que mide dosis de radiactividad, que se usa cuando se emplean métodos nucleares para determinar humedad y densidad.

E

Empréstito.-Volumen de material que se excava para suplir la deficiencia o insuficiencia del suministrado por los cortes.

Entumecimiento de un suelo.- Aumento del volumen de los suelos con la humedad. También se le llama expansión y le ocurre a las arenas y, en modo muy especial, a las arcillas.

Equivalente de Arena.- Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

Esfericidad de una Partícula (Suelos).- Es la relación entre el diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula y su largo.

Esponjamiento (suelos).- Aumento de volumen que experimenta un suelo al ser removido de su estado natural.

Esponjamiento (arenas).- Aumento aparente de un volumen dado de arena cuando aumenta su humedad libre.

Estabilización de Suelos.- Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos y/o físico – químicos.

Estabilización Mecánica del Suelo.- Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos.

Estabilización Química del Suelo.- Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante la incorporación de un compuesto químico.

Estabilizador de Suelos.- Producto químico, natural o sintético que, por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

Estrato.- Masa de suelo en forma de capa de espesor más o menos uniforme.

G

Grado de saturación.- Se dice que un suelo está saturado cuando el agua ocupa la totalidad de sus huecos. El grado de saturación es el Cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío. Se expresa en porcentaje.



Huecos.- Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

Humedad de Saturación.- Porcentaje de humedad para el cual un suelo presenta todos sus vacíos llenos con agua y su grado de saturación es por tanto de 100%. La humedad de saturación varía de un suelo a otro dependiendo de su densidad de partículas sólidas, para un nivel de densificación dado.

Humedad Optima.- Porcentaje de humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación determinada presenta su máxima densidad (DMCS).

Humedad.- Cociente entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.

Índice de Consistencia (suelos).- Es la diferencia entre el límite líquido y la humedad (natural) de un suelo, dividida por el Índice de Plasticidad de éste.

Índice de Grupo.- Índice utilizado en el Sistema AASHTO de clasificación de suelos para efectuar la evaluación en cada grupo. Su valor depende del porcentaje que pasa por 0,075 mm, del Límite Líquido y del Índice de Plasticidad del Suelo.

Índice de Huecos.- Relación entre el volumen de vacíos y el volumen sólido de un suelo. Se llama también relación de vacíos.

Índice de Plasticidad.- Diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico de un suelo.

Índice Líquido (de Liquidez).- Se define el Índice de Liquidez de un suelo como la razón entre el porcentaje de Humedad Natural menos Límite Plástico y el Índice de Plasticidad. Es decir, cuando la Humedad Natural es igual al Límite Líquido, el Índice de Liquidez es igual a 1.

Laja.- Partícula pétrea en que la razón o Cociente entre las dimensiones máximas y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

Límite de Contracción.- Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no origina una disminución de volumen.

Límite Líquido.- Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

Límite Plástico.- Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a1 cm de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

Limo.- Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0,005 mm y 0,08 mm.



Macro-cono de Arena (suelos).- Es un aparato medidor de volumen, utilizado para el control de densidad de terreno, construido proporcionalmente a una escala mayor y que utiliza la misma válvula que el cono convencional. A diferencia de este último, el macro-cono controla el llenado de un cono de 12" de diámetro y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 l. (Ver Figura S0501_2)

Material Inadecuado.- Suelo no apto para servir los propósitos de un camino. En general, este término se utiliza para designar los suelos de fundación de terraplenes que no cumplen con los requisitos especificados.

Módulo de Reacción.- Cociente entre la presión aplicada por medio de una placa rígida y la reacción o deflexión producida.

Muestra de Laboratorio.- Cantidad mínima de material necesario para realizar los ensayes de laboratorio requeridos.

Muestra Inalterada.- Muestra extraída sin alterar las condiciones naturales del suelo.

Muestra Perturbada.- Muestra de suelo extraída o reconstituida artificialmente, en donde se modifica una o más propiedades respecto de su estado natural.

N

Napa Freática.- Capa de agua libre subterránea presente en un determinado suelo.

P

Partículas Desmenuzables.- Partículas contenidas en los pétreos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

Perfiles de Refracción Sísmica.- Determinación, mediante una serie de detectores o geófonos en línea, del tiempo de viaje de ondas compresionales originadas en una fuente explosiva. Permite determinar espesores de estratos y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en ellos. Este método se utiliza principalmente en la prospección de túneles y para determinar la escalabilidad de suelos y rocas.

Permeabilidad de un Suelo.-Propiedad de los suelos o capas granulares de un pavimento de permitir el paso del agua a través de ellas. Se mide mediante ensayo y se expresa como coeficiente de permeabilidad. Es un indicador de la capacidad drenante del suelo o capa granular.

Peso Específico.- Cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4 ºC. Es adimensional.

Picnómetro.- Recipiente de vidrio calibrado que se emplea para determinar la densidad de partículas sólidas de suelos conformados por partículas menores que 5 mm.

Placa de Carga.- Ensaye en que un suelo, de acuerdo a un procedimiento determinado, se somete a diversos estados de carga aplicados a través de placas rígidas, registrándose la deflexión producida en ellos.

Planiformidad de una Partícula.- Relación entre el ancho y el espesor de una partícula de suelo.

Poro Accesible.- Poro permeable o abierto.

Poro Inaccesible.- Poro impermeable o cerrado.

Porosidad.- Cociente entre el volumen de vacíos y el volumen total de suelo. Se expresa en porcentaje.

Punto de Ablandamiento.- Es la menor temperatura a la que una muestra suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas y colocada dentro de un baño de agua o glicerina, es forzada a fluir 25 mm por el peso de una bola de acero especificada debido a incrementos de la temperatura, a una velocidad prescrita.



Redondez de una Partícula.- Es la medida de la agudeza de sus vértices y se define como el Cociente entre el radio promedio de los vértices y aristas y el radio de la esfera máxima inscrita.

Retracción de un Suelo.- Disminución del volumen de un suelo húmedo o saturado, debido a su desecación.

Roca Ígnea.- Rocas de origen profundo, resultado del enfriamiento y cristalización de la masa fundida, el magma.

Roca Metamórfica.- Tienen su origen en rocas ya existentes que, sometidas a transformaciones químicas o al calor y la presión en el interior de la corteza terrestre, han sufrido una metamorfosis química, mineralógica o física.

Roca Sedimentaria.- Rocas procedentes de productos de erosión que se han depositado en capas generalmente muy compactas (sedimentos) sobre el suelo o, más comúnmente, en el fondo del mar.

S

Secado hasta Masa constante.- Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado al horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada.

Sedimentación.- Formación de sedimentos a partir de partículas suspendidas en el agua.

Segregación.- Separación de ciertas partículas de un material o mezcla, durante su transporte o colocación.

Sobre-tamaño.- Partículas de un suelo de mayor tamaño que el máximo especificado.

Solubilidad.- Propiedad de una sustancia que le permite disolverse en un líquido.

Sonda.- Equipo para perforar y extraer muestras.

Sondaje.- Operación de perforación del suelo para obtener muestras representativas de los distintos estratos. En los proyectos viales este tipo de exploración se utiliza en el estudio de fundaciones de estructuras y en el estudio de estratos de compresibilidad importante, situados bajo el nivel de la napa freática. Los suelos finos exentos de grava pueden ser bien estudiados mediante sondajes.

Subbase Granular.- Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-rasante y la base.

Sub-rasante.- Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las solicitaciones que genera el tránsito. Sobre la sub-rasante se construye el pavimento y las banquinas.

Suelo bien Graduado.- Suelo conformado por partículas de diferentes tamaños y cuya curva granulométrica es continuo y suave.

Suelo Cemento. - Suelo estabilizado con cemento para mejorarle sus propiedades.

Suelo de Fundación.- Ver Sub-rasante.

Suelo Uniforme.- Suelo en que la mayoría de las partículas tienen dimensiones similares y queda representado por una curva granulométrica empinada.

T

Talud.- Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical.

Tamizado.- Operación que consiste en separar por tamaño las partículas de un agregado, mediante tamices.

Tensión Capilar.- Fuerza originada por la tensión superficial de un líquido y que hace que ascienda por un tubo capilar.

Tensión Superficial.-Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza .superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o erg/cm².

Terraplén.- Obra construida empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

Testigo.- Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos de hormigón o de asfaltos terminados y/o de elementos de hormigón estructural, cuyo propósito es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

Testiguera.- Aparato para extraer testigos.

Textura de un Suelo.- Grado de finura y uniformidad del suelo detectado mediante el tacto, y se describe con términos tales como, harinoso, suave, arenoso, áspero, según la sensación percibida (determinación organoléptica).

Trabajabilidad.- Facilidad con que una muestra puede ser elaborada, distribuida, conformada y terminada.

Trabazón.- Disposición o acomodo de las partículas gruesas de un agregado que da forma a una estructura estable.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).- Valor promedio aritmético de los volúmenes diarios de flujo vehicular para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

Triaxial.- Los ensayes triaxiales se usan para determinar la resistencia al corte y el ángulo de fricción de un suelo a través de relaciones tensión-deformación de suelos bajo diferentes condiciones de drenaje.

Turba.- Suelos sedimentarios, compuestos principalmente por materia orgánica, parcialmente descompuesta, que se ha acumulado bajo condiciones de excesiva humedad.

CAPÍTULO S0101 MÉTODOS PRELIMINARES DE DESCRIPCIÓN E INVESTIGACIÓN DE SUELOS

CAPÍTULO S0101 - DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL) (ASTM D2488)

DIFERENCIAS IMPORTANTES ENTRE GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS

GRAVAS [> 2 mm]	ARENAS [ENTRE 0,06 Y 2 mm]
Los granos no se apelmazan aunque estén húmedos, debido a las pequeñas tensiones capilares	Los granos se apelmazan si están húmedos
Cuando el gradiente hidráulico es mayor de 1, se produce en ellas flujo turbulento	No se suele producir en ellas flujo turbulento

ARENAS [ENTRE 0,06 Y 2 mm]	LIMOS [ENTRE 0,002 Y 0,06 mm]
Partículas visibles, en general no plásticas Terrenos secos tienen una ligera cohesión, se reducen a polvo fácilmente entre los dedos Fácilmente erosionadas por el viento Los asentamientos finalizan al acabarse la construcción	Partículas invisibles y algo plásticos Los terrones secos tienen cohesión apreciable pero se reducen a polvo con los dedos Difícilmente erosionados por el viento Los asentamientos suelen continuar después de acabada la construcción

LIMOS [ENTRE 0,002 Y 0,06 mm]	ARCILLAS [< 0,002 mm]
No suelen tener propiedades coloidales Para tamaños mayores a 0,002mm se hace dada vez mayor proporción de minerales no arcillosos Tacto áspero. Se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos Los terrones secos tienen cohesión apreciable, pero se reducen a polvo con los dedos	Tienen propiedades coloidales Consisten en su mayor parte de minerales arcillosos Tacto suave. Se secan lentamente y se pegan a los dedos Los terrones secos se pueden partir, pero no se pueden reducir a polvo con los dedos.

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS FINOS EN EL CAMPO

Para la identificación de suelos finos del suelo en campo se utiliza muestra de suelo con fracciones que pasen el tamiz de 0,425 mm (Nº 40).

Dilatancia (Reacción al agitado)

Posteriormente a quitar las partículas mayores del tamiz de 0,425 mm (Nº 40), se prepara una pastilla de suelo húmedo de aproximadamente 10 cm³, debiendo añadirse un poco de agua de manera de tener el suelo suave pero no pegajoso.

Colocar la pastilla en la palma y agitar horizontalmente, golpeando vigorosamente varias veces contra la otra mano. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual cambia adquiriendo una apariencia de hígado y se vuelve lustrosa. Cuando la pastilla se oprime entre los dedos, el agua y el lustre desaparecen de la superficie, la pastilla se vuelve tiesa y finalmente se agrieta o desmorona. La rapidez de la aparición del agua durante el agitado y de su desaparición durante la opresión sirve para identificar el carácter de los finos de los suelos.

- a) De reacción rápida, cuando el proceso descrito acontece muy rápidamente (ejemplos: arena fina, arena fina limosa, grava limosa).
- b) De reacción lenta, cuando el proceso descrito acontece muy lentamente (ejemplos: limo arcilloso, limos, arena arcillosa).
- c) Sin reacción alguna, cuando el proceso descrito no se presenta (ejemplos: arcilla limosa, arcilla).

Resistencia en estado seco (característica al rompimiento)

Se moldea un cilindro de suelo de 2,5cm de diámetro por 2,5cm de altura hasta alcanzar una consistencia de masilla. Se deja secar la pastilla totalmente en un horno, al sol o al aire y se prueba su resistencia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad.

- a) Sin resistencia en estado seco, cuando el suelo seco no se descompone prácticamente (ejemplos: gravas, arenas, mezclas de gravas y arenas).
- b) Baja resistencia, cuando el suelo seco se desintegra en pequeños pedazos (ejemplos: limos, mezclas de limos y arenas finas).
- c) Alta resistencia en estado seco, cuando es altamente desintegrable, (ejemplos: arcillas, arcillas limosas, arcillas con bajo contenido de finos arenosos).

Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico)

Se moldea un espécimen de 10 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masilla, la muestra se rola a mano sobre una superficie lisa, hasta hacer un rollito de 3mm, se amasa y se vuelve a rolar varias veces hasta que se ponga el espécimen tieso, donde pierde su plasticidad y se desmorona cuando alcanza su límite plástico.

- a) Plasticidad baja, cuando se rola e inmediatamente se desmorona (ejemplos: limos, arenas arcillosas).
- Plasticidad media, cuando se rola el suelo y el rollito al ser presionado con los dedos se deshace inmediatamente (ejemplos: mezclas de arcillas y limos, arenas arcillosas).
- c) Plasticidad elevada, cuando se rola el suelo y al ser presionado el rollito no se quiebra ante una presión del dedo fuerte (ejemplo: arcilla).

EXAMEN VISUAL DE MUESTRAS

(1) OBRA:							
⁽²⁾ USO:			(3) N° DE CAMPO: (4) FECHA:				
(5) PROCEDENCIA:				(8) N° DE SOLICITUD DE SERVICIO:			
(7) MUESTRA		(II) PROF.	(10) N° DE LAB.	(11) DESCRIPCION			
	+						
REALIZADO POR	R:		REVISADO POR:				

PLANILLA S0101_1 EXAMEN VISUAL DE MUESTRAS

(11) DESCRIPCION: Se debe anotar todas las características de la muestra

TABLA S0101_1 MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE ENSAYO

(1) OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar
(2) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza el examen visual
(3) USO: Se debe indicar cual será o es uso del material a ensayar
(4) N° DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada
(5) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra
(6) N° DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el N° de solicitud de servicio con la cual se contrato el ensayo
(7) MUESTRA: Indica el número de cada muestra recolectada
(8) UBICACION: Determinacion del sitio (Coordenada, progresiva, otros)
(9)PROFUNDIDAD: Es la distancia que existe desde la superficie hasta el punto donde se tomo la muestra
(10) № DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio

CAPÍTULO S0102 - RECOMENDACIONES GENERALES PARA SUELOS Y SUS APLICACIONES COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

OBJETIVO

Estas especificaciones definen las calidades y graduaciones de mezclas de arena - arcillas; gravas o escorias seleccionadas; arenas o material triturado proveniente de pétreos o escorias o cualquier combinación de estos materiales, para ser utilizados como subbases, bases y capas de rodadura. Estos requerimientos son aplicables únicamente a materiales que tienen densidades netas entre 2.000 y 3.000 Kg. /m³ y absorciones y graduaciones características.

REQUERIMIENTOS GENERALES

Los áridos gruesos, retenidos sobre tamiz 4,75mm (N°4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo -deshielo y humedad – sequedad, no deben ser usados.

Los áridos finos, que pasan por tamiz 4,75mm (N°4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por tamiz 0,075mm (N°200).

Las fracciones que pasan por tamiz 0,075mm (Nº 200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por tamiz 0,475mm (Nº 40). Los límites de consistencia de la fracción que pasa por tamiz 0,475mm estarán conformes a lo indicado en la Tabla S0102_1.

Todo el material deberá estar libre de materias orgánicas y terrones de arcillas. La graduación de los materiales deberá estar conforme con los requerimientos de la Tabla S0102_2.

TABLA S0102_1 LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

	Límite Líquido	Índice de Plasticidad
Subbase	Máx. 35	Máx. 8
Base Estabilizada	Máx. 35	Máx. 6
Carpeta de Rodadura	Máx. 35	5 – 10

MATERIALES PARA SUBBASE

Los materiales para subbase deberán cumplir con los requerimientos estipulados en "Requerimientos generales" y en "Materiales para subbase" y con la graduación TM-50a de la Tabla S0102_2

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles de no más de 40%.

MATERIALES PARA BASE GRANULAR

Los materiales para base granular (estabilización hidráulica) cumplirán con los requerimientos indicados en "Requerimientos generales" y en "Materiales para subbase". Las granulometrías deberán ajustarse a una de las siguientes bandas: TM-50b, TM-50c o TM-25 de la Tabla S0102_2; el porcentaje de chancado, no deberá ser menor que 50%.

Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble, el contenido mínimo de chancado será de 70%, su tamaño máximo absoluto será de 40 mm. Y su Índice de Plasticidad máximo será de 4%, salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, el que en ningún caso podrá exceder el 6 %.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR 80%; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser CBR 100%.

Nota1: Cuando se emplea como subbase de pavimento de hormigón, el soporte deberá ser CBR 50%.

MATERIALES PARA CARPETA DE RODADURA

Cuando se prevea que la carpeta de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin una protección asfáltica, el material deberá cumplir con los requerimientos de "Requerimientos generales" y de "Materiales para carpeta de rodadura", con un contenido mínimo de chancado de 50% y con la banda TM-40c.

Nota 2: De acuerdo a circunstancias locales, previo estudio, se podrán variar el fino bajo 0,08 mm y los límites de consistencia.

En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR 60%. En zonas donde se permite efectuar el ensaye sin inmersión, este valor deberá ser del 80%. La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 30%.

BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO (GTC)

Los materiales para GTC, deberán cumplir con los requerimientos de "Materiales para base granular" y con una de las siguientes bandas granulométricas: TM-50c con tamaño máximo absoluto de 40mm o TM-25. Los materiales podrán ser sólo seleccionados, siempre que cumplan con una resistencia característica a la compresión a 7 días de 2,5 Mpa.

BASE TRATADA CON CEMENTO (BTC)

Los materiales para BTC, deberán cumplir con lo establecido en "Base tratada con cemento (BTC)", a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

BASE ABIERTA LIGADA (BAL)

Los materiales deberán cumplir con los requisitos del punto "Requerimientos generales" y con la banda granulométrica TM-40a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, no mayor que 35%.

CONTENIDO DE HUMEDAD

Todos los materiales contendrán una humedad igual o ligeramente mayor que la óptima, necesaria para asegurar la densidad de diseño requerida.

TABLA S0102_2 BANDAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUB BASE, BASES Y CAPAS DE RODADURA

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Altemativo	TIVI-SUA	1141-200	1141-500	IIVI~+va	I IVI-40D	11W1-40C	1 W-23
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 – 100	70 – 100	80 - 100	80 - 100	100
19	3/4"	-	45 - 75	60 - 90	50 - 80	-	-	70 – 100
9,5	3/8"	30 - 75	35 - 65	40 – 75	25 - 50	50 - 80	50 - 80	50 - 80
4,75	Nº 4	20 - 65	25 - 55	30 - 60	10 – 30	35 - 65	35 - 65	35 - 65
2,36	Nº 8	-	-	-	5 – 15	-	-	-
2	Nº 10	10 - 50	15 - 45	15 – 45	-	25 - 50	25 - 50	25 - 50
0,425	Nº 40	5 – 30	5 - 25	10 – 30	0-5	10 – 30	10 – 30	10 – 30
0,075	Nº 200	0 – 20	0 - 10	0 – 15	0-3	5 - 15	5 - 15	5 - 15

CAPÍTULO S0103 - INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y ROCAS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (ASTM D420 AASHTO T86)

INTRODUCCIÓN

El muestreo e identificación de materiales del subsuelo, implica técnicas complejas acompañadas de procedimientos e interpretaciones diferentes, las cuales están influenciadas por condiciones geológicas y geográficas, por el propósito de la investigación y por los conocimientos, experiencia y entrenamiento del Ingeniero.

Esta norma proporciona métodos para el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales pueden determinarse las condiciones de distribución del suelo, de la roca y del agua freática.

Una investigación consistente y procedimientos adecuados de muestreo del suelo y de la roca, facilitarán la correlación de los respectivos datos con propiedades ingenieriles del suelo como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

SIGNIFICADO

Un estudio adecuado del suelo y de la roca, proporciona la información pertinente para decidir sobre uno o más de los siguientes puntos.

- a) Localización tanto vertical como horizontal de la obra propuesta.
- b) Localización y evaluación del material de préstamo, escogencia del material seleccionado de cantera o localización de la fuente local de materiales de construcción, para su empleo como áridos para la vía o para las estructuras, para materiales de filtro o para la protección de taludes.
- Necesidad de cualquier tratamiento o drenaje de la sub-rasante o de la fundación del terraplén.
- d) Necesidad de técnicas especiales para la excavación y el drenaje.
- e) Desarrollo de investigaciones subsuperficiales detalladas para estructuras específicas.
- f) Investigaciones de estabilidad de taludes en cortes y terraplenes.
- g) Necesidad de identificación de áreas que requieren especial protección del medio ambiente.
- h) Necesidad de controlar problemas de construcción.

La investigación subsuperficial del suelo deberá proporcionar muestras de suelo y roca suficientemente grandes y de calidad tal, que permitan determinar la clasificación del suelo o de la roca o el tipo mineralógico, o ambos, y las propiedades de ingeniería pertinentes al diseño propuesto.

EQUIPOS Y MATERIALES

El tipo de equipo requerido para una investigación sub-superficial depende de la naturaleza del terreno y de la utilización propuesta para los datos.

La Supervisión determinará cuál es el método más apropiado y el equipo dentro del listado incluido aquí para la exploración y muestreo.

- a) Barrenos Manuales, para depósitos superficiales de suelo.
- b) Barrenos y Taladros Rotatorios Motorizados, con puntas adecuadas, muestreadores y tubos saca-testigos para la investigación y muestreo tanto de rocas como de suelos.
- c) Los aparatos geofísicos utilizados para la investigación subsuperficial pueden incluir:
- d) Instrumentos Sísmicos, con recepción simple o múltiple mediante geófonos, de señales originadas por golpes de martillo, explosivos u otras fuentes de energía.
- e) Aparato de resistividad de Suelos, para medir la resistencia del suelo o roca al paso de una corriente continua o alterna.
- f) Aparatos Nucleares, para medir humedad y peso unitario de suelos o rocas.
- g) Muestreadores de Turba, similares al muestreador Davis para investigar áreas compuestas por suelos orgánicos.
- h) Herramientas Manuales Pequeñas, tales como llaves de tubo y palas, constituyen parte del equipo necesario.
- i) Cajas de Cierre Hermético, para humedad de muestras, de 118-237 cm³ (aproximadamente. de 4 a8 onzas) de capacidad, de vidrio, metal o plástico, que puedan sellarse; además, recipientes herméticos o bolsas de tejido cerrado, libres de material contaminante, de manera que no haya pérdida de partículas finas y que tengan una capacidad de por lo menos 16 Kg. (35 lb.); también cajas apropiadas para muestras de núcleos de roca. Una lona de 2 x 2 m (6' x 6'), puede usarse para transportar una muestra de suelo a granel para su examen en el laboratorio.
- j) Los siguientes accesorios son igualmente necesarios: Brújulas, Inclinómetro, Nivel de Mano, Libreta de Campo, Cámara Fotográfica, Estacas y una cinta de 20 o de 30 mts.
- k) Ácido Clorhídrico, normal diluido (HCL, 1 + 7) en un frasco de 1 onza con gotero, para la determinación de carbonatos al identificar minerales en rocas y suelos.
- 1) Instrumentación In Situ, para medir Asentamientos y Movimientos del Terreno.

RECONOCIMIENTO DEL AREA DEL PROYECTO

Antes de iniciar cualquier programa de campo, se debe recopilar, estudiar y evaluar, toda la documentación técnica disponible: mapas topográficos, fotografías aéreas, mapas geológicos de la República del Paraguay, imágenes satelitales, mapas de litologías regionales, mapas de suelos para ingeniería e informes que cubran el área del proyecto. Igualmente deben estudiarse, cuando los haya, informes de investigaciones subsuperficiales de proyectos cercanos o adyacentes.

Es necesario tener en cuenta que aun cuando los mapas e informes anteriores sean obsoletos y de valor limitado a la luz del conocimiento presente, una comparación de lo viejo con lo nuevo, a menudo revela información valiosa e inesperada.

Los mapas agrológicos e informes de suelos de fecha reciente, pueden ayudar al Ingeniero para establecer la amplitud de las características del suelo a profundidades entre 0,9 y 4,5 m (3 a15 pies), para cada tipo de suelo mostrado en los mapas.

Cada tipo de suelo tiene un perfil que lo distingue debido al material de origen (roca madre), al relieve, a las condiciones climáticas y a la vegetación. Estas propiedades puede ayudar a identificar los diferentes tipos de suelos, cada uno de los cuales pueden requerir análisis y tratamiento específico; a menudo se encuentran propiedades similares de ingeniería, donde existen características similares para el perfil del suelo. Los cambios en las propiedades del suelo en áreas adyacentes indican a menudo cambios en el material de origen o en el relieve.

En áreas donde los datos descriptivos son incompletos debido a la escasez de mapas geológicos o de suelos deberán estudiarse los suelos y rocas en zonas de cortes abiertos, en la vecindad de la obra y anotar los diferentes perfiles de suelos y rocas.

Donde se desee un mapa preliminar que cubra el área del proyecto, puede prepararse con base en mapas elaborados con la ayuda de fotografías aéreas, que muestren las condiciones del terreno. La distribución de los depósitos de suelos y rocas predominantes, que probablemente se encontrarán durante la investigación, podrán mostrarse empleando datos obtenidos de mapas geológicos y de reconocimiento del terreno. Expertos en la interpretación de fotografías aéreas pueden deducir muchos datos del subsuelo a partir del estudio de fotografías en blanco y negro, a color y de rayos infrarrojos, debido a que condiciones similares de suelo o roca, o ambas, generalmente tienen patrones parecidos en fotografías aéreas de regiones con clima o vegetación similares.

Este mapa preliminar puede transformarse en otro con más detalles de ingeniería, localizando las perforaciones de ensayo, las calicatas y barrenos de muestreo y precisando mejor los límites determinados con la exploración detallada del subsuelo.

DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS

Un perfil general de un área de suelo o roca, o ambos, está definido únicamente en el sitio del pozo o sondeo, o en el corte abierto examinado. Un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y afloramientos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto en cuestión.

Puede complementarse esta fase de la investigación mediante registros gráficos de suelo y de roca, observados en paredes de excavaciones o de áreas de cortes, o mediante registros gráficos de perforaciones de ensayo, o de ambos, e interpolando luego entre estos registros mediante el empleo de relaciones geológicas y de ingeniería con otros datos de suelos y rocas pertinentes al área. La separación en esta clase de investigaciones dependerá de la complejidad geológica del área, y de la importancia de la continuidad del suelo y de la roca con respecto al diseño. Las perforaciones, deberán ser de suficiente profundidad para revelar los datos de ingeniería requeridos que permitan el análisis de los renglones enunciados en "significado" para cada proyecto. Se debe tener en cuenta la información correspondiente a los sondeos se puede determinar de la siguiente manera:

Perfil: información puntual de un sondeo o perforación.

Sección: información extrapolada entre dos o más sondeos o perforaciones.

Corte: información real o específica – no extrapolada – en una sección.

Pueden emplearse métodos geofísicos de exploración para complementar los datos de las perforaciones y afloramientos, y para interpolar entre los mismos. Los métodos sísmicos y de resistividad eléctrica pueden resultar particularmente valiosos, cuando se presentan diferencias bien definidas en las propiedades de materiales subsuperficiales contiguos.

El método de refracción sísmica es especialmente útil para determinar la profundidad a la cual se halla la roca o en sitios donde se encuentren estratos cuya densidad aumenta con la profundidad.

El método de resistividad eléctrica es igualmente útil para determinar la profundidad de la roca, evaluando formaciones estratificadas donde un estrato más denso descansa sobre uno menos denso, y en la investigación de canteras de arena-grava o de otros materiales de préstamo.

Las investigaciones geofísicas pueden ser una guía útil para programar los sitios de las calicatas y de perforaciones.

La profundidad de las calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1,5m por debajo del nivel proyectado para la sub-rasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar esa profundidad. Los sondeos para estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis subsuperficial de transmisión de esfuerzos.

Donde el drenaje pueda ser afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que lo puedan obstaculizar, las perforaciones deberán prolongarse suficientemente dentro de estos materiales para determinar las propiedades geológicas y de ingeniería, relevantes con el diseño del proyecto.

En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para permitir un cálculo confiable de las cantidades requeridas de material.

Los registros de perforaciones para cada proyecto se efectuarán de manera sistemática y deberán incluir:

- a) Descripción de cada sitio o área investigada, con cada pozo, sondeo o calicata localizada claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente.
- Perfil o columna estratigráfica de cada pozo, sondeo o calicata, o de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos o palabras.
- c) Las fotografías en colores de testigos de roca, muestras de suelos, y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad para el Ingeniero. Cada fotografía deberá identificarse con fecha y un número o símbolo específico.
- d) La identificación de los suelos deberá basarse en los métodos para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para construcción de carreteras, en el método sobre descripción mediante procedimientos manuales y visuales, o en la de identificación de rocas ASTM C 294.
- e) Las zonas acuíferas, drenaje subterráneo y profundidad del nivel freático hallado en cada perforación, calicata o barreno.

- f) Los resultados de ensayos en sitio (in-situ), donde se requieran, como los de penetración o los de veleta a que se hace referencia en "Muestreo" de "Perfil Sub-supeficial" u otros ensayos in-situ para determinar propiedades de suelos o rocas.
- g) Porcentaje de recuperación del testigos extraído mediante la perforación con brocas de diamante y, cuando sea necesaria, estimación de la Designación Cualitativa de la Roca (RQD).

PERFIL SUBSUPERFICIAL

Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente con base en perforaciones reales de ensayo, calicatas o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios deberá hacerse con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica disponible, anotando claramente, que tal interpolación o continuidad asumida de estratos, es meramente tentativa. En ningún caso, deberán hacerse extrapolaciones.

Muestreo

Obténganse muestras representativas de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea de importancia para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra.

Nota 1: El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a discreción de la Supervisión, pero se sugieren, para algunos propósitos, las siguientes cantidades, para la mayoría de los materiales.

Clasificación visual: 0.028 a0.45 kg.

Análisis granulométrico y constantes del suelo-agregado: 0.45 a2.3 kg.

Ensayo de compactación y granulometría de suelos: 9 a18 kg. Producción de áridos o ensayo de propiedades: 45 a90 kg.

Identifíquese cuidadosamente cada muestra con la respectiva, perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrese en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes sellados para evitar pérdidas de la misma.

Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, protéjanse para minimizar la pérdida de humedad.

Deberán tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,3 kg.

PROCEDIMIENTO

- 1. Los procedimientos recomendados para el muestreo en el sitio, la identificación y los ensayos son los siguientes:
 - a) Calicatas y trincheras: Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.

- b) Investigación y Muestreo del Suelo mediante Barrenos. Este método se refiere al empleo de barrenos distintos al de vástago hueco, para la investigación de suelos y muestreo, donde se puedan utilizar muestras alteradas. El procedimiento es útil para la determinación del nivel freático. La profundidad con esta clase de barreno está limitada por las condiciones agua-suelo, las características del suelo y el equipo empleado.
- c) Método de Penetración y Muestreo de Suelos con el Tubo Partido. Describe un procedimiento para obtener muestras y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado.
- d) Método de penetración cónica estática (CPT), Norma ASTM D 3441.
- e) Método para Muestreo de Suelos con Tubo de Pared Delgada. Describe un procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.
- f) Método para la Perforación con Broca de Diamante para investigaciones del Sitio. Cubre un procedimiento para recuperar muestras intactas de roca y de ciertos suelos demasiado duros.
- g) Método de corte con Veleta en Suelo Cohesivo. Para medir in-situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.
- h) Investigación y Muestreo de Suelos con Barreno de Vástago Hueco. Este método, describe procedimientos que utilizan un barreno especialmente diseñado para facilitar el muestreo en el sitio.
- 2. La investigación del suelo y la roca comprenderá las etapas siguientes:
 - a) Revisión de cualquier información disponible sobre la historia geológica y la formación de la roca o del suelo, o de ambas, sobre las condiciones del nivel freático en el sitio y en la vecindad inmediata.
 - b) Determinación de las profundidades del nivel freático y del material de fundación firme, bien, sea roca o suelos de adecuada capacidad de soporte.
 - c) Investigación en el sitio de los materiales superficiales y del subsuelo mediante perforaciones de percusión y lavado, rotación, barrenos manuales o mecánicos de espiral, calicatas y métodos geofísicos.
 - d) Identificación del suelo y de los tipos de roca en el terreno con registros de la profundidad a la cual se presentan y de la localización de sus discontinuidades estructurales.
 - e) La recuperación de muestras representativas alteradas para ensayos de clasificación del suelo o de la roca, y de los materiales locales de construcción. Estas deberán complementarse con especímenes adecuados para la determinación de las propiedades requeridas pertinentes a la investigación.
 - f) Una evaluación del comportamiento de instalaciones existentes en la vecindad inmediata del sitio propuesto, con respecto al material de fundación y el medio ambiente.
 - g) Instrumentación en el sitio para medir movimientos por medio de inclinómetro, placa de asentamiento, etc.

Clasificación del material

Las muestras para ensayos de suelos y de rocas deberán enviarse al laboratorio para los siguientes métodos de identificación y clasificación.

- a) Clasificación de Suelos y de Mezclas de Suelo Agregado para la Construcción de Carreteras.
- b) Clasificación de Suelos para fines de ingeniería.
- c) Nomenclatura Descriptiva. Esta es una breve y útil descripción de las rocas y minerales más comunes, tal como se encuentran en la naturaleza (ASTM C 294).

Interpretación de los resultados

Interprétense los resultados de una investigación, únicamente en términos de lo encontrado realmente y realícense esfuerzos para recoger e incluir todos los datos de investigaciones anteriores, en la misma área. La extrapolación de datos en áreas locales no investigadas, puede hacerse de manera tentativa, únicamente cuando se conozca que existe geológicamente una disposición subsuperficial uniforme del suelo y de la roca. Las propiedades ingenieriles de los suelos y rocas de proyectos importantes, no deberán predecirse solamente con base en la simple identificación o clasificación en el terreno, sino que deberán comprobarse mediante ensayos de laboratorio y de terreno.

Las recomendaciones de parámetros de diseño deben ser formuladas únicamente por ingenieros o geólogos, especializados en suelos y fundaciones o por ingenieros de carreteras familiarizados con los problemas comunes en dichas áreas. Los conceptos de Mecánica de Suelos y de Rocas, y de geomorfología, deben combinarse con un conocimiento de la ingeniería estructural o del pavimento, para lograr una aplicación cabal de los resultados de la exploración de suelos y rocas. Un estudio más detallado que el descrito, puede ser necesario antes de que puedan efectuarse recomendaciones para el diseño.

INFORME

El informe de investigación subsuperficial deberá incluir:

- a) Localización del área investigada en términos pertinentes al proyecto. Esto puede incluir esquemas o fotografías aéreas en las cuales se localizan las perforaciones y zonas de muestreo, así como detalles topográficos para la determinación de los diferentes suelos y rocas, tales como, contornos, lechos de corrientes, depresiones, acantilados, etc. En cuando sea posible, inclúyase en el informe un mapa geológico, perfiles, secciones y otros del área investigada.
- b) Inclúyanse también copias de los registros de perforaciones y, calicatas de ensayo y resultados de los ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO SO2 NORMAS Y PROCEDIMIENTOS EN LA PREPARACIÓN, TOMA Y TRANSPORTE DE MUESTRAS

CAPÍTULO S0201 - CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D4220)

OBJETIVO

Este método establece métodos para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.

Puede implicar, igualmente, el manejo y transporte de muestras de suelos contaminadas con materiales que ofrecen riesgo y de muestras que pueden estar sometidas a cuarentena.

USO Y SIGNIFICADO

El empleo de los diferentes métodos descritos en este método, depende del tipo de muestras obtenidas, del tipo de ensayo y de las propiedades de ingeniería requeridas, de la fragilidad y sensibilidad del suelo, y de las condiciones climáticas. En todos los casos, el objeto primordial es el de preservar las condiciones propias de cada muestra.

Los métodos aquí descritos fueron inicialmente desarrollados para muestras de suelo que han de ensayarse para obtener las propiedades de ingeniería; sin embargo, ellos también pueden aplicarse a muestras de suelo o de otros materiales, para otros fines.

El tipo de materiales y de recipientes requeridos, depende de las condiciones y requerimientos enunciados para los grupos A a D y también del clima, del medio de transporte y de la distancia.

EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Parafina para sellado, puede ser: parafina, cera microcristalina, cera de abejas, o una combinación de las mismas.
- b) Discos de metal, de alrededor de 2 mm (1/16") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interno del tubo, saca muestra o anillo, y para utilizarlos conjuntamente con parafina, tapas y cinta, o ambos.
- c) Discos de madera, encerados previamente, de 25 mm (1") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del saca muestra o el del tubo.
- d) Cinta, ya sea plástica a prueba de agua, adhesiva de fricción, o de pegar tubos.
- e) Estopa de algodón, para emplear con parafina en capas alternadas
- f) Tapas, ya sean plásticas, de caucho o de metal, para colocar en los extremos de los. Tubos de pared delgada, saca muestra con anillos, junto con cinta o parafina
- g) Empacadores, empleados para sellar los extremos de la muestra, dentro de los tubos de pared delgada.

Nota 1: Se prefieren empacadores de plástico dilatables. Los empacadores dilatables metálicos sellan igualmente bien; sin embargo, en almacenamientos a largo plazo, pueden causar problemas de corrosión.

- h) Frascos, de boca ancha, con tapa y anillo de caucho o tapa con un papel sellante, y de un tamaño adecuado para recibir confortablemente la muestra, comúnmente de 250 ml, 500 ml, y 1.000 ml.
- i) Bolsas, ya sean plásticas, de figue, fibra, lona, etc.
- j) Empaque.- Material para proteger contra vibraciones y choques.
- k) Aislamiento, ya sea polietileno expandido, burbujas plásticas o del tipo de espuma, que resista cambios de temperatura perjudiciales para el suelo.
- l) Cajas, para el transporte de muestras de bloque cúbico y elaboradas con tablas de 13 a19 mm (½ a 3/4") de espesor.
- m) Cajas cilíndricas, un poco más largas que los tubos de pared delgada.
- n) Cajas para transporte, de construcción apropiada para protección contra choques y vibraciones.
 - **Nota 2:** Deben observarse las limitaciones de longitud, embalaje y peso para el transporte comercial.
- o) Material para la identificación.- Incluye los elementos necesarios, tales como rótulos y marcadores para identificar adecuadamente la (s) muestra (s).

PRECAUCIONES

La preservación y el transporte de muestras de suelos pueden implicar el contacto con materiales, equipos, u operación, que conllevan algún riesgo. Es de responsabilidad de quien utilice este método, consultar y establecer medidas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la posibilidad de aplicar limitaciones reglamentarias antes de su empleo.

Instrucciones especiales, descripciones, y marcas en las cajas, deben incluirse en cualquier muestra que pueda contener materiales radioactivos, tóxicos o contaminantes.

PROCEDIMIENTO

- 1. Para todas las muestras.- Identifíquense apropiadamente las muestras con membretes, rótulos y marcas, antes de transportarlos, en la siguiente forma:
 - a) Nombre o número de la obra, o ambos.
 - b) Fecha del muestreo.
 - c) Muestra/número y localización de la perforación.
 - d) Profundidad o elevación, o ambas.
 - e) Orientación de la muestra.
 - f) Instrucciones para transporte especial o manejo en el Laboratorio, o ambas, incluyendo la forma como debe quedar colocada la muestra.
 - g) Datos del ensayo de penetración si son aplicables.
- 2. Transpórtense muestras en cualquier clase de caja mediante cualquier medio de transporte disponible. Si se transportan comercialmente, el recipiente sólo necesita cumplir con las exigencias mínimas de la agencia transportadora y con los restantes requisitos para asegurarse contra la pérdida de la muestra.

Grupo A

- 3. Estas muestras deberán conservarse y transportarse en recipientes o empaques sellados a prueba de humedad, todos los cuales deberán ser de espesor y resistencia suficientes para evitar su rotura
 - Los recipientes o empaques pueden ser bolsas plásticas, frascos de vidrio o de plástico (suponiendo que sean a prueba de agua), tubos de pared delgada, y anillos. Las muestras cúbicas y cilíndricas pueden envolverse en membranas plásticas adecuadas, en papel de aluminio, o ambas (Véase Nota 3) y cubrirse con varias capas de parafina, o sellarse con varias capas de estopa y parafina.
- 4. Estas muestras pueden enviarse mediante cualquier medio disponible de transporte. Pueden remitirse como fueron preparadas o colocarse en recipientes más grandes, como costales, cajas de cartón o de madera, o canecas.
 - **Nota 3**: Algunos suelos pueden perforar el papel de aluminio, debido a corrosión. En tales casos, evítese entonces el contacto directo.
- 5. Bolsas plásticas.- Las bolsas plásticas deberán colocarse tan ajustadamente como sea posible alrededor de la muestra, expulsando todo el aire posible. El plástico deberá ser de 0,076 mm. (0.003") o más grueso para evitar escapes.
- 6. Frascos de vidrio o de plástico.- Si las tapas de los frascos no están selladas con anillos de caucho o con papel parafinado, las tapas deberán sellarse con parafina o con cinta aislante.
- 7. Tubos de pared delgada:
 - a) Empaques ensanchables.- El método preferido para sellar los extremos de las muestras dentro de los tubos es con empaques plásticos que pueden dilatarse.
 - b) Discos parafinados.- Para un sellamiento a corto plazo, la parafina es aceptable; a largo plazo (más de 3 días), deben emplearse ceras microcristalinas o combinadas con 15% de cera de abejas o resinas para una mejor adherencia a la pared del tubo y para reducir la contracción. Varias capas delgadas de parafina son mejores que a una capa gruesa. El espesor final deberá ser de 10 mm (0.4").
 - c) Tapas de los extremos. Las tapas en los extremos de metal, caucho o de plástico, deberán sellarse con cinta. Para almacenamiento a largo plazo (más de 3 días), deberán también parafinarse, aplicando dos o más capas.
 - d) Estopa de algodón y parafina.- Capas alternadas (un mínimo de dos de cada una) de estopa y parafina, pueden emplearse para sellar cada extremo del tubo y para estabilizar la muestra.

Nota 4: Cuando sea necesario, deberán colocarse separadores o material adecuado de empaque, o ambos, antes de sellar los extremos del tubo, para proporcionar el confinamiento debido.

- 8. Alienadores o camisas delgadas de anillos: Véanse los literales c) y d) anteriores.
- 9. Muestras expuestas.

Grupo B

- 10. Las muestras cilíndricas, cúbicas u otras muestras envueltas en plástico, como polietileno y polipropileno u hojas delgadas de papel de estaño o aluminio, etc., deberán protegerse posteriormente con un mínimo de tres capas de parafina.
- 11. Las muestras cilíndricas y cubos envueltos en estopa y parafina, deberán sellarse con un mínimo de tres capas de cada una, colocadas alternadamente.

12. Las muestras en cajas de cartón deben empacarse en tal forma, que la parafina pueda vaciarse completamente alrededor de la muestra. Generalmente, deberán envolverse las muestras en plástico o en papel de estaño o de aluminio, antes de parafinarse.

Grupo C

- 13. Estas muestras deben preservarse y sellarse en empaques como se indica en el aparte "Grupo B". Adicionalmente, deberán protegerse contra choques, vibraciones y extremo calor o frío.
- 14. Las muestras transportadas por el personal del muestreo o del Laboratorio, o en la cabina de un vehículo automotor, necesitan colocarse solamente en cajas de cartón o en empaques similares, dentro de los cuales las muestras selladas encajen ajustadamente, evitando golpes, volcamientos, caídas, etc.
- 15. Para los demás métodos de transporte de muestras, incluyendo buses, encomiendas, camiones, barco, avión, etc., será necesario colocar las muestras selladas en cajas de madera, de metal, o de otro tipo adecuado, que proporcionen amortiguación o aislamiento.
- 16. El material de amortiguación (aserrín, caucho, polietileno, espuma de uretano, o material de resiliencia similar) deberá empacar completamente cada muestra. La amortiguación entre las muestras y las paredes de las cajas deberán tener un espesor mínimo de 25 mm (1"). Un espesor mínimo de 50 mm (2") deberá proporcionarse sobre el piso de la caja.
- 17. Cuando sea necesario, las muestras deberán remitirse en la misma posición como fueron tomadas. Por otra parte, pueden proporcionarse condiciones especiales, tales como, drenaje controlado o confinamiento suficiente del suelo, o una combinación de éstas.

Grupo D

- 18. Deberán cumplir los requerimientos del grupo C más los siguientes:
- 19. Las muestras deberán manejarse manteniendo la misma orientación con que fueron muestreadas, inclusive durante el transporte, mediante marcas adecuadas sobre la caja de embarque.
- 20. Para todos los medios de transporte privado o comercial, el cargue, transporte y descargue de las cajas, deberán supervisarse en cuanto sea posible por una persona calificada. (Ingeniero de suelos, inspector, laboratorista o persona designada por el director de proyecto).

Cajas para empaque

Las siguientes características deben incluirse en el diseño de la caja de empaque para los grupos C y D.

- a) Debe poderse volver a usar.
- b) Debe construirse en tal forma que la muestra pueda conservarse en todo momento, en la misma posición que cuando se hizo el muestreo.
- c) Deberá incluirse suficiente material de empaque para amortiguar y/o aislar los tubos de los efectos adversos de vibración y choque.
- d) Deberá incluirse suficiente material aislante para evitar excesivos cambios de temperatura.
- e) Cajas de madera:
- f) Es preferible la madera al metal.- Puede emplearse lámina exterior que tenga un espesor de 13 a19 mm (½" a 3/4"). La tapa deberá ir abisagrada y cerrada con aldaba, y asegurada con tornillos.

- g) Los requerimientos de amortiguación se dan en el aparte "Grupo C".
- h) Para protección contra variaciones excesivas de temperatura, toda la caja deberá forrarse con un aislamiento de espesor mínimo de 50 mm (2").

Cajas metálicas para despacho: Las cajas metálicas para despachos deberán tener incorporado material de amortiguación y aislante. Alternativamente, el efecto de amortiguación podrá lograrse con un sistema de suspensión de resorte o mediante cualquier otro medio que proporcione protección similar.

Otros Recipientes: Pueden emplearse también cajas construidas con material de fibra de plástico o cartón reforzado.

INFORME

Los datos obtenidos en el campo deberán registrarse e incluirán lo siguiente:

- a) Nombre o número de la obra, o ambos.
- b) Fecha (s) del muestreo.
- c) Muestra/número (s) del sondeo y sitio (s).
- d) Profundidad (es) o elevación (es), o ambos.
- e) Orientación de la muestra.
- f) Posición del nivel freático, si lo hubiera.
- g) Método de muestreo y datos del ensayo de penetración, si fueren aplicables.
- h) Dimensiones de la muestra.
- Descripción del suelo (basado en la identificación visual de los Suelos).
- j) Nombres del Inspector/cuadrilla, Ingeniero de suelos, Jefe del Proyecto, etc.
- k) Condiciones Climáticas.
- I) Observaciones Generales.

PRECISIÓN

Este método únicamente proporciona información general y cualitativa, por lo cual no es aplicable una proposición general de precisión.

CAPÍTULO S0202 - PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS POR CUARTEO (AASHTO T248)

OBJETO

Mediante estos procedimientos, se pueden dividir las muestras de suelos obtenidas en el campo, para obtener porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados para los diferentes ensayos que se necesite desarrollar.

Hay procedimientos manuales y mecánicos; de acuerdo con el tamaño de la muestra de campo y el de la muestra requerida, se pueden aplicar los métodos que se describen más adelante.

EQUIPOS

Cuarteador metálico para separación mecánica. Tendrá un número par de ductos de ancho igual, que no será menor de ocho (8) para suelos con partículas gruesas, o de doce (12) para suelos finos, los cuales descargan alternadamente a cada lado del muestreador. El ancho mínimo de cada ducto será aproximadamente cincuenta por ciento (50 %) mayor que la partícula más grande de la muestra que se va a cuartear.

Estos se consiguen comúnmente con tamaños adecuados para partículas menores de 37.5 mm (1½"). Para materiales finos, el cuarteador debe tener ductos de 13 mm (½") de ancho para muestras con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8").

El cuarteador está dotado de dos (2) recipientes, colocados uno a cada lado, para recibir las dos mitades de las muestras que pasan a través de él. También estará equipado con una tolva o recipiente de bordes rectos, el cual debe tener un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total del conjunto de ductos, por el cual la muestra cae a una velocidad controlada hacia los ductos, sin restricciones o pérdidas de material.

Rectángulo de lona, hule o tela plástica de 2.0 m x 2.5 m.

Palas, cucharones, palustres y cucharas de diverso tamaño y forma.

Escobas y cepillos.

Regla enrasadora.



Equipos y Materiales Requeridos para el Ensayo

SELECCIÓN DEL MÉTODO

Dentro de los procedimientos para la preparación de muestras por cuarteo, se aplican los siguientes métodos:

Método A

Cuarteo manual sobre muestras que pesan más de 10 kg, que se encuentran relativamente secas.

Método B

Cuarteo manual sobre muestras que pesan menos de 10 kg.

Método C

Utilizando los cuarteadores mecánicos cuando se trata de muestras que están más secas que a condición de "saturadas superficialmente secas"; o muestras de áridos que previamente al cuarteo se secan a temperaturas inferiores a las establecidas para los ensayos a que se someterán.

PROCEDIMIENTO

Método A

Cuarteo manual de muestras de gran tamaño.

1. Cuarteo de muestras que pesan más de 50 Kg.:

Se coloca la muestra traída del campo, sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se pierda, ni se le adicione material.



Colocación de la Muestra



Mezclado del Material

Se mezcla el material completamente, volteándolo con pala, unas tres veces; después de la última mezcla se va conformando una pila cónica, colocando cada palada en el centro, de modo que el suelo ruede hacia la base por todas las direcciones.

Cuando no se disponga de una superficie nivelada y limpia, la muestra se coloca sobre un rectángulo de lona, hule o tela plástica.

A continuación, se aplana la pila en forma cuidadosa hasta tener un espesor uniforme y un diámetro definido, de forma tal, que cada cuarto de círculo contenga material con todos los tamaños originales de la muestra.

El diámetro de la pila aplanada, debe ser aproximadamente entre 6 u 8 veces el espesor de la capa material.







Muestra Aplanada

Se divide la muestra aplanada en cuatro (4) partes iguales, utilizando una regla o tubo y se retiran dos partes diagonalmente opuestas, incluyendo el material más fino, usando una escoba o cepillo, si es necesario.



Separación de la Muestra con Regla



Separación de la Muestra en 4 partes

El material, que queda se vuelve a mezclar tomando paladas alternativamente de cada una de las dos cuartas partes que quedaron. Se repite el proceso de cuarteo hasta que la muestra quede reducida al tamaño deseado.



Separación en 2 Porciones Opuestas



Muestra Cuarteada

2. Cuarteo de muestras que pesan entre 10 Kg. y 50 Kg.: Se deposita la muestra sobre la lona y se mezcla elevando alternativamente las esquinas de ésta, tirando hacia la muestra como si se tratara de doblar la lona diagonalmente. Se aplana y continúa el proceso como en el caso anterior.

Método B

3. Cuarteo manual de muestras que pesan menos de 10 kg.

Se coloca la muestra traída del campo sobre una superficie dura no absorbente, limpia y nivelada; se mezcla totalmente y se forma una pila cónica miniatura, con ayuda de un palustre o cucharón. Se aplana el cono apretándolo con el palustre.







Mezclado del Material

Formación de una Pila Cónica

Aplanado del Material

Una vez se logre un espesor uniforme y una figura regular, se cuartea el material cortándolo por diámetros normales entre sí para tener cuatro porciones iguales, de las cuales se descartan dos diagonalmente opuestas. Se repite el proceso hasta obtener la muestra del tamaño deseado.



Separación de la Muestra en 4 Partes



Selección de 2 Porciones Opuestas

Método C

4. Cuarteo Mecánico

Se utiliza para cuartear suelos finos y gruesos y áridos finos y gruesos.

La muestra que llega del campo una vez se encuentre a las condiciones de humedad adecuadas, se coloca en una bandeja plana o en la tolva del cuarteador distribuida uniformemente de extremo a extremo, de forma que el material cuando pase por los ductos caiga aproximadamente en igual cantidad por cada uno.







Muestra Agregada al Cuarteador



Distribución Uniforme de la Muestra

La rata a la cual se descarga el material debe ser tal, que permita el flujo libre a través de los ductos sin obstrucciones hasta los recipientes.



Descarga del Material

El material de un recipiente, nuevamente se descarga a través del cuarteador y se reserva el del otro para obtener muestras para otros ensayos. Repítase el proceso tantas veces como sea necesario para obtener la muestra del tamaño deseado.



Porciones de Muestra Obtenida



Repetición del Proceso



Muestra Cuarteada

CAPÍTULO S0203 - OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA PROBETAS DE ENSAYO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA (ASTM D1587 AASHTO T207)

OBJETO

Este método establece la forma de obtención de muestras relativamente inalteradas de suelos para probetas de ensayo, en el cual se emplea un tubo metálico de pared delgada.

Existen en general dos (2) tipos de saca muestras que usan tubos de pared delgada: de tubo abierto y de pistón. Los muestreadores de pistón son mejores y pueden ser usados en casi todos los suelos. El método descrito se aplica igualmente a ambos, ya que los requisitos de los tubos de pared delgada son los mismos para los tipos de probetas obtenidas por los dos métodos.

EQUIPOS

1. Equipo de perforación

Puede emplearse cualquier equipo de perforación que proporcione un orificio limpio antes de la inserción del tubo de pared delgada cuidando de que no perturbe al suelo muestreado y de que pueda efectuarse una penetración continua y rápida.

2. Tubos de pared delgada

Los tubos de pared delgada de 50.8 a127 mm (2" a 5") de diámetro exterior deben ser elaborados de un material que tenga una resistencia mecánica adecuada y características anticorrosivas satisfactorias (Figura S0203_1). Para obtener la debida resistencia a la corrosión, los tubos pueden llevar un recubrimiento adecuado. Si se especifica, pueden emplearse tubos de tamaños diferentes.

Los tubos serán de una longitud entre 5 y 10 veces el diámetro para penetración en arenas y entre 10 y 15 veces el diámetros para penetración en arcillas. Los tubos serán cilíndricos y suaves sin filos ni ralladuras y estarán limpios y libres de oxidación y polvo. Se permiten tubos sin costura o soldados, pero en este último caso las soldaduras no se deben proyectar en la costura.

El borde cortante será maquinado como se muestra en la Figura S0203_1 y estará libre de muescas. La relación de la luz interior estará entre 0.5 y 3%. Las dimensiones adecuadas de los tubos de muestreo de pared delgada están indicadas en la tabla S0203_1.

La cabeza de acople deberá estar provista de dos agujeros con diámetro mínimo de 9.52 mm (3/8") para el montaje. Deberá proporcionarse un área de ventilación mínima de 3.9 cm² (0.6 pulg.) por encima de la válvula de retención (cheque).

3. Parafina sellante

La parafina sellante que se vaya a emplear no deberá tener una contracción apreciable, ni permitir la evaporación de las muestras; se preferirán las parafinas microcristalinas. Antes del sellado con parafina y para proporcionar un mejor cierre de ambos extremos del tubo, se recomienda usar discos delgados de acero o de cobre amarillo que tengan un diámetro ligeramente menor que el interior del tubo. Se requiere, además, estopilla de algodón y cinta impermeabilizada o parafinado.

4. Equipo accesorios

Rótulos, hojas de datos, contenedores de embarque y otros elementos menores necesarios.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

PROCEDIMIENTO

Hasta la profundidad del muestreo, el orificio se debe limpiar usando el método preferido que asegure que no se perturba el material que se vaya a muestrear. En arenas saturadas y limos, se deberá sacar lentamente la punta, broca o corona del taladro en uso para prevenir que el suelo se afloje alrededor del orificio. Se deberá mantener el nivel de agua en el orificio a un nivel mayor o igual que el nivel de aguas freáticas (NAF).

No se permitirá el uso de puntas, brocas o coronas con descarga de fondo, pero podrán emplearse con orificios de descarga lateral. Para la limpieza de la perforación, no está permitida la utilización de chorro a través de un muestreador de tubo abierto.

Con el tubo de muestreo apoyado sobre el fondo de la perforación y con el nivel del agua a la misma altura o por encima del NAF (Nivel de aguas freáticas), se penetra el tubo en el suelo mediante un movimiento continuo y rápido sin impacto ni torsión. En ningún caso, el tubo será empujado más allá de la longitud prevista para la muestra del suelo. Es necesario dejar un margen de aproximadamente 75 mm (3") de longitud de muestra para recortes y desperdicios.

Cuando los suelos sean tan duros que el empuje no haga penetrar el muestreador suficientemente para una adecuada recuperación, y cuando la recuperación mediante empuje en arenas sea pobre, se puede usar un martillo para hincar el muestreador. En tal caso, debe anotarse el peso, la altura y el número de golpes. Antes de halar el tubo, es necesario girarlo al menos dos (2) revoluciones para cortar la muestra en el fondo.

Los procedimientos de muestreo se deben repetir en intervalos no mayores de 1.5 m (60") en estratos homogéneos y en cada cambio de estrato.

PREPARACIÓN PARA EMBARQUE

Después que se haya extraído el muestreador, se debe medir y anotar la longitud de la muestra dentro del tubo y la longitud penetrada.

A continuación, deberá removerse el material perturbado en el extremo superior del tubo antes de aplicar la parafina y se medirá la longitud de la muestra nuevamente luego de remover al menos 25 mm (1") de suelo de su extremo inferior. Después de insertar sendos discos impermeabilizantes, se sellarán ambos extremos del tubo con parafina aplicada, en forma tal que se evite su penetración en la muestra.

Cuando los tubos se vayan a transportar, se protegerán los extremos para prevenir el rompimiento de los sellos. Es aconsejable colocar estopilla de algodón alrededor de los extremos después del sellado y sumergirlos varias veces en la parafina fundida.

Deberán adherirse rótulos a los tubos con la identificación del trabajo, la localización de la perforación, el diámetro y el número de muestra, la profundidad, la penetración y la longitud recuperada. Deberá hacerse, igualmente, una descripción cuidadosa del suelo, anotando su composición, estructura, consistencia, color y grado de humedad. Se deberán rotular por duplicado los números del tubo y del sondeo.

Los tubos siempre se deberán almacenar a la sombra en un lugar fresco. Las muestras para embarque deben empacarse adecuadamente para reducir el efecto de choques, vibraciones y alteraciones.

Usando suelo removido de los extremos del tubo se debe hacer una descripción cuidadosa dando la composición, condición, color y, si fuere posible, su estructura y consistencia.

INFORME

Los datos obtenidos en los sondeos deberán registrarse en el campo e incluirán lo siguiente:

- a) Nombre y localización de la obra.
- b) Fechas del comienzo y terminación del sondeo.
- c) Número y coordenadas del sondeo, si se dispone de ellas.
- d) Elevación (cota) de la superficie, si se dispone de ella.
- e) Número y profundidad de la muestra.
- f) Método de avance del muestreador, longitudes de penetración y de recuperación.
- g) Tipo y tamaño del muestreador.
- h) Descripción del suelo.
- i) Espesor de la capa o estrato de suelo.
- j) Profundidad del nivel de aguas freáticas (NAF); de pérdida de agua; de cabeza artesiana; y la hora en que fue hecha la lectura.
- k) Tipo y marca del equipo de perforación.
- I) Tamaño del revestimiento, profundidad de la perforación.
- m) Nombres del personal (Ingeniero, inspector, operario y ayudantes).
- n) Informe de tiempo y labores.

TABLA S0203_1.TUBOS DE ACERO DE PARED DELGADA PARA MUESTRAS DE TAMAÑOS APROPIADOS.

Diámetro exterior			
mm	50,8	76,2	127
pulg.	2	3	5
Espesor de la pared			
Bwg	18	16	11
mm	1,24	1,65	3,05
pulg.	0.049	0.065	0.120
Longitud del tubo			
m	0,91	0,91	0,91
pulg	36	36	36
Espacio Libre			
Porcentaje	1%	1%	1%

Los 3 (tres) diámetros que aparecen en la Tabla S0203_1, son indicados con propósitos de normalización y no significan que los tubos de muestreo de diámetro intermedio o mayores no sean aceptables. Las longitudes mostradas para los tubos son ilustrativas. Las longitudes convenientes deberán determinarse de manera que se ajusten a las condiciones del campo.

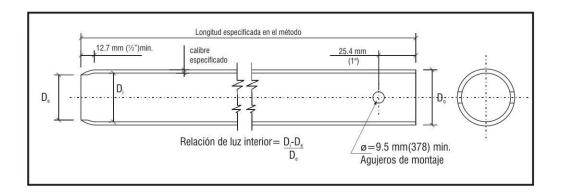


FIGURA S0203_1TUBO DE PARED DELGADA

CAPÍTULO S0204 PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D421 ASTM D2217 AASHTO T87)

OBJETO

Este método se refiere a la preparación en seco de las muestras de suelos, tal como se reciben del terreno para el análisis granulométrico y para la determinación de las constantes del suelo, cuando se necesite conocer estas características de muestras secadas al aire, o cuando se sabe que el sistema de secado no influye sobre los resultados.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Balanza con precisión de 0,1 gr.
- 2. Mortero y su pisón forrado en caucho para disgregar las partículas del suelo.
- **3.** Tamices de:

4,75	mm	(No. 4)
2,0	mm	(No. 10)
425	μm	(No. 40)
75	μm	(No. 200)

4. Cuarteador de muestras.

SELECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras del suelo tal como se reciben del terreno, deben ser secadas completamente en el aire (o en el horno a una temperatura no mayor de 38 °C (100 °F)). Los grumos o terrones deben ser entonces disgregados completamente en el mortero con un pisón forrado en caucho. Una muestra representativa de la cantidad requerida para ejecutar los ensayos deseados será entonces seleccionada por el método de cuarteo *\$0202*. Las cantidades del material requerido para ejecutar los ensayos individuales son las siguientes:

5. Análisis granulométrico

De los materiales que pasan el tamiz de 2 mm (No.10) se requieren las siguientes cantidades para el análisis mecánico: 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos o arcillosos.

6. Ensayos para determinar constantes de los suelos

Para los ensayos físicos se requiere material $\,$ que pasa el $\,$ tamiz de 425 $\,$ μm (No.40) en una cantidad de 220 g distribuidos como sigue:

a)	Límite líquido	100 g
b)	Límite plástico	15 g
c)	Humedad centrífuga equivalente	10 g
d)	Factores de contracción	30 g
e)	Ensayos de comprobación	65 g

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS

La porción de la muestra secada al aire y seleccionada para el propósito de los ensayos debe ser pesada, anotándose dicho valor como el peso de la muestra total de ensayo sin corrección de la humedad higroscópica. La muestra de ensayo debe separarse sobre el tamiz de 2 mm (No.10).

La porción retenida en dicho tamiz, deberá ser apisonada en el mortero para disgregar los grumos o terrones. Los suelos así desintegrados serán separados entonces en dos fracciones, tamizándolos en el tamiz de 2 mm (No.10).

La fracción retenida después del segundo tamizado, será lavada para sacarle los materiales finos, secados y pesados. Este peso será anotado como el peso del material grueso. El material grueso, después de ser lavado y secado, será tamizado en el tamiz de 4,75 mm (No.4) anotándose el peso retenido en éste.

MUESTRAS PARA EL ENSAYO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

La fracción que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) en ambas operaciones de tamizado, será completamente mezclada y cuarteada para tomar una porción aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y aproximadamente de 65 g para suelos limosos o arcillosos para el análisis mecánico.

MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LAS CONSTANTES DE SUELOS

La porción sobrante del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) será entonces separada tamizándola con el tamiz de 425 μ m (No.40). La fracción retenida en dicho tamiz no será usada.

La fracción que pasa el tamiz de 425 µm (No.40) será utilizada para la determinación de las constantes físicas de suelo.

CAPÍTULO S0205 - PREPARACIÓN DE MUESTRAS HÚMEDAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D2217)

OBJETO

Este procedimiento se aplica para la preparación de muestras de suelo con la humedad con que son recibidas del campo, para el análisis granulométrico y para la determinación de las constantes físicas del suelo.

El método "A" se ha desarrollado para el secado de las muestras de campo a una temperatura que no exceda de 60 °C (140 °F), haciendo inicialmente la separación a la humedad de la muestra, sobre el tamiz de 2,0 mm (No.10), o de 425 μ m (No.40) o de ambos, si así se requiere, y después secándola a una temperatura que no supere los 60 °C (140 °F). El método "B" estipula que la muestra se mantendrá a una humedad igual o mayor del contenido natural de agua.

El procedimiento que deba emplearse, deberá estar indicado en la especificación del material que se va a ensayar. Si esto no está definido, aplíquense los requisitos del método "B".

USO Y SIGNIFICADO

El Método "A" se emplea para preparar muestras de suelos, para ensayos de plasticidad y análisis granulométrico, cuando las partículas de grano grueso de la muestra son blandas y fácilmente pulverizables, o cuando las partículas finas son muy cohesivas y ofrecen resistencia a desprenderse de las partículas gruesas.

Algunos suelos nunca pierden su humedad en forma natural, y cuando son secados pueden cambiar notoriamente sus características. En estos casos, si se desea conocer su gradación natural y las características de plasticidad, dichos suelos deberían ser enviados al Laboratorio en recipientes sellados y procesados conforme al Método "B" de este procedimiento.

Los valores del límite líquido y del Índice de Plasticidad obtenidos de muestras con su humedad natural generalmente, pero no siempre, son iguales ó algo mayores que los valores determinados de muestras semejantes de suelos secos. En el caso de los suelos orgánicos de grano fino, hay una caída brusca en la plasticidad, debido al proceso de secado en horno.

EQUIPOS

- **1.** Balanza, con precisión de 0.1 g.
- **2.** Mortero con pisón cubierto de caucho, capaz de disgregar los grumos o agregaciones de partículas.
- 3. Tamices, de 2 mm (No.10) y de 425 μ m (No.40) de malla cuadrada, de acuerdo con la especificación.
- 4. Cuarteador.
- 5. Aparatos para secado: horno termostáticamente controlado para usar con una temperatura de 60 °C (140 °F) o menos y 110 °C (230 °F); lámpara de rayos infrarrojos, secador de aire caliente, u otros aparatos capaces de secar muestras de suelos.

6. Equipo auxiliar: Bandejas de 305 mm (12") de diámetro y 75 mm (3") de profundidad; recipiente capaz de prevenir pérdida de humedad de la muestra; embudo con filtro y papel de filtro.

METODO A

Procedimiento

- 7. Se seca la muestra de suelo recibida del campo, usando uno de los siguientes procesos: (1) al aire a la temperatura ambiente (2) en horno a una temperatura que no exceda de 60°C (140°F), ó (3) utilizando otro aparato calentador que no eleve la temperatura de la muestra por encima de 60°C (140°F).
- **8.** Se machaca completamente cualquier grumo o aglomerado de partículas, usando el mortero con su pisón cubierto de caucho.

Nota 1: Cuando la muestra contenga partículas de lutitas blandas, areniscas u otro material débil, debe tenerse mucho cuidado para evitar una excesiva reducción de tamaños.

9. Se escoge una muestra representativa por cualquiera de los métodos de cuarteo descritos en el *Método S0202.*

El tamaño de dicha muestra deberá ser suficiente para efectuar el ensayo de análisis granulométrico del material retenido en el tamiz de 2 mm (No.10) y suministrar una cantidad adecuada de material que pasa el tamiz de 425 μ m (No.40) para los ensayos de las constantes del suelo.

Las cantidades de material para los ensayos individuales son las siguientes:

Analisis granulometrico del materia	al retenido en el tamiz de 2.0 mm (No.10
Suelos con gravas Suelos arenosos Suelos limosos o arcillosos	4000 á 10.000 g 1500 g 400 g
Análisis granulométrico del materia	al que pasa por el tamiz de 2.0 mm (No.10)
Suelos arenosos Suelos limosos o arcillosos	115 g 65 g
Métodos para determinar constant	es físicas del suelo.
Límite Plástico Humedad centrífuga equivalente Factores de contracción	15 g 10 g
	Suelos con gravas Suelos arenosos Suelos limosos o arcillosos Análisis granulométrico del materia Suelos arenosos Suelos limosos o arcillosos Métodos para determinar constant Límite Líquido Límite Plástico

Preparación de las Muestras de Ensayo

- **10.** Para análisis granulométrico:
 - a) Se pesa la porción seleccionada y se anota este valor como "peso de la muestra total sin corrección por humedad higroscópica". Se separa este material en dos porciones utilizando el tamiz de 2 mm (No.10). Se deja a un lado la porción pasante para combinarla más tarde con el material adicional.
 - b) Se deposita el material retenido en el tamiz de áridos sobre una bandeja; se cubre con agua y se deja remojar hasta que los grumos o agregados de partículas

- se ablanden. Después que se ha empapado, se lava el material sobre tamiz de 2 mm (No.10) de la siguiente forma. Se coloca un tamiz de 2 mm (No.10) desocupado sobre la base de una bandeja limpia y se vierte el agua con que se remojó la muestra sobre el tamiz. Se añade agua suficiente para que el nivel de la superficie quede aproximadamente 12.7 mm (½") por encima de la malla.
- c) Se traslada el material empapado al tamiz en porciones cuyo peso no exceda de 0.45 kg (1 lb) revolviéndolo con los dedos mientras se agita el tamiz. Se desintegra o amasa cualquier terrón que no se haya empapado; se alza el tamiz por encima del agua y se completa el lavado utilizando una pequeña cantidad de agua limpia. Se deposita el material lavado en otra bandeja y se continúa el proceso con otra porción, hasta que se lave todo.
- d) Se seca el material retenido sobre el tamiz de 2 mm (No.10) a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Se vuelve a tamizar, añadiendo el material pasante por el tamiz de 2 mm (No.10), al que se separó conforme a lo señalado en el numeral 10.a). Se deja a un lado el material retenido, para utilizarlo en el ensayo de análisis granulométrico.
- e) Se aparta el agua con que se lavó el material y se deja reposar por varias horas o hasta que las partículas se depositen en el fondo de la bandeja.
- f) Se decanta con una pipeta o sifón lo mejor que sea posible. Si no se precipitan las partículas, toda el agua debe evaporarse. Séquese el suelo remanente en la bandeja a una temperatura que no supere los 60 °C (140 °F). El suelo seco se pulveriza con el mortero u otro aparato, y se junta con el obtenido de acuerdo con el numeral 10.a).
- g) Alternativamente, después que el material empapado se haya lavado, se pasa la mayor cantidad del agua que queda en la bandeja, por un embudo con filtro. El suelo húmedo retenido se regresa a la bandeja y se seca a una temperatura que no pase de los 60 °C (140 °F). El suelo seco se utiliza como se indica en el literal anterior.
- 11. Para determinación de las constantes físicas del suelo.- En este caso, se debe proceder como se ha indicado en el "Procedimiento" de "Método A", pero se utilizará el tamiz de 425 μ m (No.40), en lugar del tamiz de 2 mm (No.10).
 - **Nota .2:** En algunas zonas es posible que los cationes de las sales que tiene el agua corriente cambien con los cationes naturales de los suelos, y esto altera significativamente el valor de las constantes de los suelos cuando dicha agua es empleada para remojar y lavar las muestras. A menos que se sepa con certeza que esta clase de cationes no está presente en el agua corriente, debe emplearse para este ensayo agua destilada o desmineralizada.

Cuando el suelo contenga sales solubles, el agua de lavado debe recogerse y evaporarse y retornar a la muestra de suelo las sales que se obtengan.

Muestras de Ensayo

12. Manteniendo separada cada porción de la otra, se mezclan totalmente todas las partes obtenidas del material que pasa el tamiz de 2 mm (No.10) y del material que pasa el tamiz de 425 μm (No.40). Por cuarteo manual o mecánico, se escogen y pesan las muestras señaladas en el punto "Procedimiento" del Método A, según sean necesarias.

METODO B

Muestras

Las muestras de acuerdo con este procedimiento, deben ser enviadas del campo al laboratorio, en recipientes sellados y deben contener toda su humedad natural. Obviamente, las muestras que tengan solamente partículas que pasan el tamiz de 2 mm (No.10) pueden ser sometidas al análisis granulométrico sin un lavado previo sobre dicho tamiz. Igualmente, las muestras que contengan únicamente partículas que pasan por el tamiz de 425 μ m (No.40), se usarán para determinar las constantes del suelo, sin lavado previo.

Preparación de las Muestras de Ensayo

- **13.** Para análisis granulométrico:
 - a) Se escoge y pesa una porción representativa que se estime que tenga 50 g de partículas que pasan por el tamiz de 2 mm (No.10), para suelos limosos o arcillosos, ó 100 g para suelos arenosos.
 - b) Para muestras que contengan partículas que no pasan por el tamiz de 2 mm (No.10) y para las cuales se necesita hacer el análisis granulométrico, se escoge y pesa una muestra representativa que, en forma estimada, contenga las cantidades de partículas de las porciones pasante y retenida sobre el tamiz de 2 mm (No.10). Se determina el contenido de humedad a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), utilizando una muestra auxiliar.
 - c) Se remoja la muestra húmeda y se lava sobre el tamiz de 2 mm (No.10) como se describió en el numeral 10.b). Después del lavado, se seca el material retenido en un horno a la temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), se pesa y se guarda para el análisis granulométrico. Si el volumen del agua de lavado y el suelo es muy grande para utilizar el procedimiento de sedimentación, se evapora el exceso de agua: (1) por exposición al aire a temperatura ambiente, (2) calentándola en horno a una temperatura que no exceda de 110 °C (230 °F) ó(3) por ebullición. Sin importar el método de evaporación utilizado, deben tenerse en cuenta las siguientes precauciones: (1) Revuélvase la lechada de vez en cuando para evitar que un anillo de suelo seco se forme sobre la pared del recipiente de evaporación, y (2) déjese enfriar la muestra a la temperatura ambiente, antes de ensayarla.
- Para la determinación de las constantes del suelo: Se escoge una porción representativa de la muestra húmeda, estimando que contenga suficientes partículas pasantes por el tamiz de 425 μm (No.40) como para tener las cantidades requeridas para determinar las constantes físicas del suelo.

Se remoja dicha porción y se lava sobre el tamiz de 425 µm (No.40) como se describió en el numeral 12. Se reduce el contenido de agua del material hasta que alcance una consistencia de masilla (que permita entre 30 y 35 caídas de la cápsula en el ensayo del límite líquido), pero nunca inferior a su humedad natural. La disminución del contenido de agua del suelo puede obtenerse como sigue: (1) por exposición al aire a temperatura ambiente, (2) calentándolo en un horno a temperatura por debajo de 110 °C (230 °F), (3) por ebullición, o (4) filtrándola a través de un embudo filtro. Durante la evaporación y el enfriamiento se remueve la muestra a menudo, suficientemente como para evitar el sobre secamiento del borde o de la superficie. Se enfría la muestra a la temperatura ambiente antes de ensayarla.

Para suelos que contengan sales solubles, utilícese un método de reducción de la cantidad de agua, que no elimine las sales de la muestra. La muestra preparada debe protegerse en un recipiente que pueda usarse hasta que se efectúen los ensayos.

CAPÍTULO S0206 - PERFORACIÓN CON BROCAS DE DIAMANTE PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO (ASTM D2113)

OBJETO

Este método describe el equipo y procedimiento para perforación con brocas de diamante, con el fin de obtener núcleos de roca y de algunos suelos que no pueden ser muestreados mediante los métodos usuales por ser demasiado duros. Mediante este método, se busca obtener datos para el diseño de fundaciones con propósitos de Ingeniería, antes que para la exploración de minerales y de minas.

USO Y SIGNIFICADO

Esta práctica es empleada para obtener especímenes de núcleos que reflejen las condiciones en el sitio del material y de su estructura y que sean apropiados para la determinación de las propiedades físicas normales de ensayo y para la verificación de la integridad estructural.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **1.** Equipo de perforación, con potencia adecuada, que pueda proporcionar rotación, alimentación y retracción por medios hidráulicos o mecánicos a las varillas (tubería) de perforación.
- **2.** Bomba de fluidos o compresor de aire, que pueda producir volumen y presión suficientes para el diámetro y la profundidad del hueco que va a ser perforado.
- **3.** Tubos toma muestras como sean requeridos:
- 4. Tubo sencillo, diseño WG: Consiste en un tubo de acero hueco, con una cabeza enroscada en un extremo para atornillar la varilla o tubo de perforación, y con una conexión de rosca en el otro, para acoplar una pareja de escariador y broca al conjunto. Es normal incluir un retenedor de núcleos localizado dentro de la broca, pero puede omitirse.
- Tubo doble giratorio, diseño WG: Consiste en un conjunto de dos tubos concéntricos de acero unidos y acoplados en el extremo superior por medio de una bola o de un eslabón de rodamientos de modo que gire el tubo exterior sin que cause la rotación del interior. El extremo superior del tubo exterior, o cabeza removible, está roscado para atornillar la varilla o tubo de perforación. Una conexión roscada es proporcionada en el extremo inferior del tubo exterior para acoplar el escariador y la broca. Normalmente, se incluye un retenedor de núcleos dentro de la broca, pero puede omitirse.
- **6.** Tubo doble giratorio, diseño WT: Es esencialmente lo mismo que el tubo doble giratorio, diseño WG, excepto que el diseño WT es de tubos con paredes más delgadas, tiene un área anular reducida entre los tubos, y toma núcleos de tamaño mayor en una perforación del mismo diámetro. El retenedor de núcleos está localizado dentro de la broca nucleadora.
- 7. Tubo doble giratorio, diseño WM: Es similar al tubo doble giratorio, diseño WG, excepto que el tubo interior esta roscado en su extremo más bajo para empalmar con un porta retenedor de núcleos que efectivamente prolongue el tubo interior dentro de la broca perforadora, disminuyendo así la exposición del núcleo al fluido de perforación.
 - Un retenedor de núcleos está contenido dentro del pequeño tubo porta retenedor de núcleos mencionado.

8. Tubo doble giratorio, diseño Diámetro Grande: Es similar al tubo doble giratorio diseño WM, pero de diámetro más grande. Se encuentra disponible en tres tamaños, así:

```
Tamaño del Núcleo x Tamaño de perforación 69.85 mm (2^{3}/_{4}") x 98.4 mm (3^{7}/_{8}") 101.6 mm (4") x 139.7 mm (5^{1}/_{2}") 152.4 mm (6") x 196.8 mm (7^{3}/_{4}")
```

Todos los tres tamaños constan de una válvula esférica para controlar el fluido y solo los dos tamaños mayores cuentan con un tubo de desperdicios para recoger partículas gruesas y ayudar a mantener limpio al agujero.

El empleo de este diseño está reservado generalmente a trabajos de investigación muy detallados o cuando otros métodos no obtienen la recuperación adecuada.

Tubo doble giratorio, con tubo interior retráctil (Método Wire-line): en este diseño el tubo interior, después de tomar la muestra, puede ser recobrado hasta la superficie, y un tubo interior vacío puede ser retornado hasta el fondo de perforación a través del interior de la tubería, evitándose así el proceso de extracción y penetración de la tubería en cada toma de muestra.

El conjunto de tubo interior consta además de: porta retenedor y retenedor de núcleos en un extremo; cabeza removible, acople giratorio, mecanismo de suspensión y dispositivo de cierre para ajustar o liberar el conjunto, en el otro extremo.

El dispositivo de cierre del tubo interior se encaja en un receso localizado en la pared interior del tubo exterior, pero de forma tal que el tubo exterior pueda rotar sin que cause giro al tubo interior, el cierre pueda accionarse y el conjunto del tubo interior pueda subirse mediante un apropiado control desde la superficie.

El tubo exterior está roscado para el acople de varillas o tubos de perforación de diámetros grandes e internamente configurado para recibir el dispositivo de cierre del tubo interior en un extremo y con rosca en el otro, para un escariador y broca, o broca solamente.

- 10. Tubos interiores partidos longitudinalmente. En oposición a los tubos interiores cilíndricos convencionales, éstos permiten la inspección y un acceso al núcleo mediante la remoción simple de una de las dos mitades. No están estandarizados pero se dispone de ellos para muchos toma muestras, incluyendo gran parte de los tipos de tubos interiores retráctiles.
- **11.** Brocas toma núcleos.

Deberán ser de los siguientes tipos:

- a) con diamantes montados en la superficie,
- b) impregnadas con partículas de diamante,
- c) con inserción de pequeñas piezas o franjas de carburo de tungsteno,
- d) recubiertas con diferentes materiales endurecedores de superficie y
- e) con dientes de sierra de material endurecido.

Se escogerán los tipos que sean apropiados para la formación de suelo o roca en la cual se va a tomar la muestra con aprobación de la Interventora. El material de la matriz de la broca, la forma de su corona, el tipo de vías de agua, así como la localización y el número de éstas, el tamaño de los diamantes y los quilates de estos, así como los materiales que forman la cara de la broca, deberán ser para propósitos generales a menos que se apruebe de otra manera.

Los tamaños nominales de algunas brocas se muestran en la *Tabla S0206_1*.

12. Rimas o escariadores.- Deberán:

- a) tener diamantes montados en la superficie,
- b) estar impregnadas con partículas de diamante,
- c) tener insertadas pequeñas tiras de carburo de tungsteno o salpicaduras,
- d) estar revestidas con diferentes tipos de materiales endurecedores de superficie o
- e) ser lisas, como sea necesario, para la formación de la cual se va a tomar la muestra.

13. Retenedores de núcleos

Los retenedores del tipo de anillo ya sean lisos o rugosos, deberán permanecer disponibles y en buenas condiciones, junto con sus respectivas portas retenedoras o con las extensiones de tubo interior, o con las zapatas de tubo interior. Los retenedores del tipo dedo o canasta, junto con cualquier clase de adaptadores necesarios, deberán encontrarse en la obra y estar disponibles para su empleo con cada toma núcleos, si así se exige.

14. Revestimientos

a) La tubería de hincar o revestimiento guía, deberá ser de peso normal (clase 40), extra pesado (clase 80), doble extra pesado (clase 160) o de diseño W de junta lisa, como sea exigido, según la naturaleza del suelo o el método de perforación. Los tubos de hincada o revestimiento W deberán ser de tamaño suficiente para que pueda pasar el toma núcleos de mayor tamaño que se vaya a emplear, y deberá hincarse hasta roca o hasta manto firme, a una elevación por debajo de formaciones sensibles al agua. Una zapata guía dura debe emplearse como borde cortante y como dispositivo de protección de la rosca en el fondo de la tubería de hincada o del revestimiento. El diámetro interior de la zapata de hincada deberá ser suficientemente grande para permitir el libre paso de las herramientas que se pretende emplear. La zapata y el revestimiento deberán hallarse libres de obstrucciones, resaltos o torceduras.

b) Revestimiento

Cuando sea necesario revestir a través de formaciones ya penetradas por el hueco de perforación o cuando no se haya hincado tubería de revestimiento, deberá proporcionarse revestimiento auxiliar que se ajuste al hueco y permita el empleo del toma muestras siguiente más pequeño. En la Tabla S0206_2 se muestran tamaños normales de revestimientos telescópicos. Las brocas para tubería de revestimiento tienen una obstrucción en su interior y no permitirán el paso de la tubería de revestimiento de tamaño más pequeño subsiguiente.

Empléese una zapata de revestimiento, si se requiere el uso de tramos telescópicos adicionales.

15. Camisa de Revestimiento

Puede emplearse tubería plástica o metálica para encamisar un revestimiento existente de diámetro grande. Las camisas empleadas así, no deberán hincarse y tener cuidado de mantener un verdadero alineamiento en toda la longitud de la camisa.

16. Barrena con vástago hueco.

Puede emplearse barrena de vástago hueco como revestimiento para la toma de núcleos.

17. Barras (tubos) de Perforación.

- 18. Barras de perforación de acero tubular, normalmente empleadas para lavado, y para transmitir rotación y fuerzas de retracción, desde la máquina de perforación al tomanúcleos. Los tamaños de las varillas de perforación se encuentran normalizados como se muestra en la *Tabla S0206_3*.
- **19.** Barras de perforación de diámetro grande, empleadas con toma núcleos de tubo interior retráctil no están normalizadas y deberán suministrarse específicamente para él toma muestras.
- **20.** Barras de perforación compuestas, fabricadas específicamente a partir de dos o más materiales, tratando de proporcionar propiedades especiales, tales como, peso liviano y no conductividad eléctrica.
- 21. Barras de perforación no magnéticas, fabricadas con materiales no ferrosos como el aluminio o el cobre y empleadas principalmente para perforaciones en trabajos topográficos. Algunas varillas no magnéticas tienen roscas del lado izquierdo para su empleo adicional en levantamientos topográficos. No existen normas para varillas no magnéticas.

22. Equipo Auxiliar

Deberá proporcionarse cuando sea requerido para el trabajo e incluirá: brocas de rodillos (triconos), brocas de arrastre (paletas), brocas cortadoras (pala), rompedoras de piedra (punta aguda), brocas cola de pescado, llaves para tubos, llaves de cadena, equipo de lubricación, cajas para muestras y dispositivos para marcar. Otros elementos recomendables incluyen rompedores de núcleos, estopa para limpieza de varillas, herramientas para extracción, tamiz de mano o coladera.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RECIPIENTES CON MUESTRAS

Las cajas deberán construirse de madera o de otro material durable para la protección y el almacenamiento de los núcleos, mientras se llevan del sitio de la perforación al laboratorio o a otro sitio de procesamiento. Todas las cajas de núcleos deberán proveerse con separadores longitudinales; los núcleos recobrados deberán disponerse a la manera de un libro, que pueda ser leído de izquierda a derecha y de la parte superior al fondo, dentro de los separadores longitudinales.

Los bloques espaciadores o tapones, deberán marcarse e insertarse en la columna del núcleo dentro de los separadores, para indicar el comienzo de cada recorrido. El punto del comienzo del almacenamiento de cada caja de núcleos está en la esquina superior izquierda. La esquina superior izquierda de una caja de núcleos con bisagras es la esquina izquierda, cuando la bisagra se halla en el lado apartado de la caja y la caja está levantada del lado derecho. Todas las cajas abisagradas de núcleos deberán estar permanentemente marcadas por fuera, indicando la tapa y el fondo. Todas las demás clases de cajas de núcleos deberán marcarse permanentemente en su exterior para indicar la tapa y el fondo y, adicionalmente, estar permanentemente marcadas interiormente para indicar la esquina superior izquierda del fondo con las letras SI, o con una marca de pintura roja no menor de unos seis (6) centímetros cuadrados. La tapa o los ajustes de la tapa para las cajas de núcleos, deben ser de calidad tal, que eviten la mezcla de los núcleos en caso de golpes o de manejo rudo de la caja durante el transporte.

El transporte de muestras desde el sitio de la perforación hasta el laboratorio u otro sitio de procesamiento deberá realizarse en cajas para núcleos durables, y empacadas tal manera, que queden aisladas de choques o de impactos por el transporte en terreno rugoso o sin cuidado.

Los núcleos después de los ensayos iniciales o de la inspección en el laboratorio o en otro sitio de procesamiento, deberán guardarse en cajas de cartón o en cajas similares menos costosas, con los requisitos de espacio y marcas de identificar especificados en el numeral 23.

Deberán agregarse bloques espaciadores adicionales o tapones si fuere necesario al tiempo del almacenamiento, para explicar la pérdida de núcleos. Los núcleos deberán almacenarse durante un período de tiempo especificado, pero normalmente no deberán desecharse antes de la conclusión del proyecto para el cual fueron tomados.

PROCEDIMIENTO

- úsense procedimientos de perforación para toma de núcleos, cuando las formaciones halladas sean demasiado duras como para utilizar métodos normales de muestreo de suelos. Una penetración igual o menor de 25.4 mm (1") para 50 golpes de acuerdo con el *método S0209* u otros criterios establecidos por la Interventora, deberán indicar que los métodos normales de muestreo de suelos, no son aplicables.
 - a) Penétrese el revestimiento hasta el manto de roca o formación firme, para evitar la destrucción del agujero y para eliminar la pérdida del fluido de perforación. Nivélese la superficie de la roca o de la formación dura en el fondo del revestimiento, empleando si fuere necesario, las brocas adecuadas. Podrá omitirse el revestimiento si el agujero de perforación se mantiene abierto sin revestimiento.
 - b) Comiéncese la perforación empleando una toma muestras de tubo doble giratorio de tamaño N u otro tipo aprobado. Continúese la perforación de los núcleos hasta que ocurra un bloqueo de los mismos o hasta que la longitud neta del toma muestras haya sido perforada. Remuévase él toma muestras del hueco y desármese si fuere necesario, para extraer el núcleo. Vuélvase a armar y retórnese él toma muestras al hueco. Reiníciese la toma de los núcleos.
 - c) Colóquese el núcleo recobrado en la caja de núcleos con el extremo superior (superficie) del núcleo, en la esquina izquierda de la caja como se describe en el numeral 23. Continúese el almacenamiento de núcleos con marcadores y espaciadores apropiados, así como con los bloques descritos en dicho numeral. Envuélvanse los núcleos friables o blandos, y los que se alteren con la pérdida de humedad, en bolsas plásticas, o recúbranse con parafina, o ambos, si así lo exige la Interventora. Empléense bloques espaciadores debidamente marcados, para indicar cualquier vacío notorio en un núcleo recobrado que puede indicar un cambio o un vacío en la formación. Colóquense las piezas y fragmentos en la misma forma como se presentarían en la naturaleza.
 - d) Deténgase la perforación de núcleos cuando se encuentren materiales blandos que produzcan menos del 50% de recuperación. Si fuere necesario, obténganse muestras de suelos blandos. Reiníciese la perforación con brocas, cuando materiales de rechazo como los descritos en el numeral 27, se encuentren de nuevo.
- 24. La estructura sub superficial, incluyendo la inclinación de los estratos, la ocurrencia de grietas, fisuras, cavidades y áreas fracturadas, se hallan entre los renglones más importantes que deben ser detectados y descritos. Téngase especial cuidado de obtener y registrar la información acerca de estos hechos. Si las condiciones no permiten el avance continuo de la perforación de núcleos, el hueco deberá cementarse y perforarse nuevamente o,

- escarificarse y revestirse, o revestir y avanzar con él toma muestras menor subsiguiente, como sea requerido.
- 25. El lodo de perforación o las técnicas de inyección, deben ser aprobadas, antes de su empleo.
- **26.** Compatibilidad del equipo.
 - a) Cuando quiera que sea posible, los saca muestras y barras de perforación, deberán seleccionarse del mismo tamaño de la letra correspondiente para asegurar su eficiencia máxima (Véanse las Tablas S0206_1 y S0206_3).
 - b) Nunca deberá usarse una combinación de bomba, barras de perforación, y tomamuestras, que produzcan una velocidad ascendente de agua clara en el hueco, menor de 37 m/min. (120 pies/min.).
 - c) No debe emplearse una combinación de compresor de aire, varilla de perforación y toma-muestras, que produzcan una velocidad ascendente de aire limpio en el hueco, menor de 915 m/min. (3.000 pies/min.).

REGISTRO DE LAPERFORACIÓN

- **27.** El registro de la perforación deberá incluir lo siguiente:
 - a) Identificación del Proyecto, número de la perforación, sitio, fechas de iniciación y terminación, y nombre del operador del equipo.
 - b) Elevación del nivel superficial de la perforación.
 - Elevación o profundidad del nivel de agua y variaciones de nivel, incluyendo las fechas y tiempos cuando fueron medidos.
 - d) Elevación o profundidad a la cual se perdió el retorno del fluido de la perforación.
 - e) Tamaño, tipo y diseño del toma muestras empleado. Tamaño, tipo y conjunto de broca y rima empleado. Tamaño, tipo y longitud de todo el revestimiento empleado. Descripción de cualquier movimiento de este último.
 - f) Longitud de penetración de cada toma muestras y longitud o porcentaje, o ambos, del núcleo recobrado.
 - g) Descripción del material recobrado en cada recorrido, efectuado por el ingeniero a cargo, o en su defecto, por el inspector de perforación, o por el operador del equipo.
 - h) Descripción de la estructura sub superficial, incluyendo la inclinación de los estratos, juntas, cavidades, fisuras y cualquier otra observación efectuada por el ingeniero, que pueda aportar datos sobre la formación en estudio.
 - i) Profundidad, espesor y naturaleza aparente del relleno de cada cavidad o veta blanda encontrada, incluyendo opiniones sobre la apariencia del interior del tubo cuando se pierde el núcleo.
 - j) Cualquier cambio en el carácter del lodo de perforación.
 - k) Información sobre mareas y corrientes cuando la perforación esté próxima a una masa de agua que va a ser afectada.
 - Tiempo de perforación en min/m (min/pie) y presión de la broca en kg-m (lb-pie) por cm² (pulg²) cuando sea aplicable.

m) Anotaciones sobre el carácter de la perforación, esto es, si resultó blanda, lenta, fácil, suave, etc.

PRECISIÓN

Esta práctica no produce datos numéricos: por lo tanto no es aplicable un criterio de precisión y exactitud.

TABLA S0206_1 TAMAÑOS NOMINALES DE BROCAS

	Brocas									
	Brocas Series W									
	Diametro exterior Diametro interior Identificador de acoplador Masa Por Vías de agua por Tipo de vi									
Tipo	in.	mm	in.	mm	in.	mm	pies	pulgada	agua	
RW	1.094	27,8	0.719	18,3	0.406	10,3	1.4	4	Regular	
EW	1.375	34,9	0.938	22,2	0.437	12,7	2.7	3	Regular	
AW	1.750	44,4	1.250	31	0.625	15,9	4.2	3	Regular	
BW	2.125	54	1.500	44,5	0.750	19	6.1	3	Regular	
NW	2.625	66,7	2.000	57,4	1.380	34,9	7.8	3	Regular	
HW	3.500	88,9	3.062	77,8	2.375	60,3	9.5	3	Regular	
					E	Brocas Series	WJ			
AWJ	1.75	44,5	1.43	36,4	0.63	16,1	3.6	5	Taper	
BWJ	2.13	54	1.81	46	0.75	19,3	5.0	5	Taper	
NWJ	2.63	66,7	2.25	57	1.13	28,8	6.0	4	Taper	
KWJ	2.88	73	2.44	61,9	1.38	34,9		4	Taper	
HWJ	3.50	88,9	2.88	73,1	1.75	44,5		4	Taper	
	Estándar Antiguo									
Е	1.313	33,3	0.844	21,4	0.438	11,1	·	3	Regular	
Α	1.625	41,3	1.266	28,6	0.563	14,3		3	Regular	
В	1.906	48,4	1.406	35,7	0.625	15,9		5	Regular	
N	2.375	60,3	2.000	50,8	1.000	25,4		4	Regular	

TABLA S0206_2 TAMAÑOS NOMINALES DE REVESTIMIENTOS

	DCDMA Revestimientos									
	Diametr	ro exterior Diametro interior Series W		exterior Diametro interior Series W Diametro interior Series X		terior Series X	Galones	Masa	Vías de agua por pulgada	
Tamaño	in.	mm	in.	mm	in.	mm	Por 100 pies	Por pies	series W	series X
RW, RX	1.44	36,5	1.20	30,5	1.20	302	5.7	1.8	5	8
EW, EX	1.81	46	1.50	38,1	1.63	41,3	9.2	2.8	4	8
AW, AX	2.25	57,2	1.91	48,1	2.00	50,8	14.8	3.8	4	8
BW, BX	2.88	73	2.38	60,3	2.56	65,1	23.9	7.0	4	8
NW, NX	3.50	88,9	3.00	76,2	3.19	81	36.7	8.6	4	8
HW, HX	4.50	114,3	4.00	100	4.13	104,8	65.3	11.3	4	5
PW, PX	5.50	139,7	5.00	127	5.13	130,2		14.0	3	5
SW, SX	6.63	168,3	6.00	152,4	6.25	158,8		16.0	3	5
UW, UX	7.63	193,7	7.00	177,8	7.19	182,6			2	4
ZW. ZX	8.63	219.1	8.00	203.2	8.19	208			2	4

TABLA S0206_3 TAMAÑOS NOMINALES DE BARRAS DE PERFORACIÓN

	Varillas de perforación									
	Diametro exterior Diametro interior Galones Por 100 Masa Por Vias de agua por									
Tamaño	in.	mm	in.	mm	pies	pies	pulgada	agua		
AQWLA	1.750	44,5	1.375	34,9	7.7	3,3	4	Taper		
AXWLB	1.813	46	1.500	38,1	9.18	2,8	4	Regular		
BQWLA	2.188	55,6	1.812	46	13.4	4	3	Taper		
BXWLB	2.250	57,2	1.906	48,4	14.82	3,8	4	Regular		
NQWLA	2.750	69,9	2.375	60,3	23.0	5,2	3	Taper		
NXWLB	2.875	73	2.391	60,7	23.30	6,8	3	Regular		
HQWLA	3.500	88,9	3.062	77,8	38.2	7,7	3	Taper		
HXWLB	3.500	88,9	3.000	76,2	36.72	8,7	3	Regular		
PQWLA	4.625	117,5	4.062	103,2						
CPWLB	4.625	117,5	4.000	101,6						

CAPÍTULO S0207 - MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE TUBO CON CAMISA INTERIOR DE ANILLOS (ASTM D3550)

OBJETO

Este método se refiere a un procedimiento para obtener muestras representativas de suelos para su identificación y otros ensayos de laboratorio, mediante el empleo de un tubo muestreador. En aquellos casos en los cuales se haya establecido que la muestra es de calidad satisfactoria, esta práctica proporciona especímenes para ensayos de corte y consolidación, que pueden emplearse directamente en el aparato de ensayo sin recortarlos previamente.

Algunos tipos de suelos pueden aumentar o perder compresibilidad o su resistencia al corte en forma apreciable, o ambas, como consecuencia del muestreo. En casos como éstos, deberán efectuarse ensayos de comparación, para valorar el efecto de la alteración de la muestra sobre la compresibilidad y la resistencia.

Este método no está destinado a ser empleado como ensayo de penetración; sin embargo, la fuerza requerida para lograr la penetración o la cuenta correspondiente al número de golpes del muestreador, cuando sea necesario su hincamiento, se recomienda como información suplementaria.

USO Y SIGNIFICADO

Este procedimiento se utiliza donde la condición del suelo y la resistencia al avance del muestreador, no permiten el empleo de un tubo de pared delgada *(Método S0203)* y donde la formación no facilite la toma de núcleos con brocas de diamante.

EQUIPOS

1. Equipo de perforación

Puede emplearse cualquier equipo de perforación que proporcione un hueco razonablemente limpio, antes de la introducción del muestreador y que no altere el suelo que se vaya a muestrear. Sin embargo, en ningún caso se permiten barrenas con descarga de fondo. Son admisibles barrenas con descarga lateral.

2. Dispositivo de pesa para la hinca

Puede emplearse cualquier dispositivo que produzca una penetración en el intervalo de 1 a 65 golpes por metro. (1 a 20 golpes por pie). En cuanto sea posible, los suelos deberán muestrearse mediante empuje y no hincada (véase el "Procedimiento").

- **3.** Conjunto de tubo con camisa interior de anillo, para el muestreo. Deberá consistir de una zapata, muestreador y tubo de desperdicios.
- **4.** Muestreador con camisa interior de anillos

Los especímenes de ensayo deberán obtenerse empleando una pieza adecuada o un tubo encamisado en su interior, con anillos removibles. Estos anillos serán de paredes delgadas, deberán cumplir con los requerimientos de tamaño de los aparatos de laboratorio empleados, y deberán encajar ajustadamente dentro del muestreador, sin juego libre perceptible en ninguna dirección. El muestreador deberá estar dividido en secciones que permitan el acople de las que sean necesarias. Cada sección deberá diseñarse en tal forma

que la adición o la remoción de secciones, no aflojen, ni permita movimiento, ni afecte adversamente de otro modo, la retención de los anillos dentro del muestreador.

El muestreador y los anillos deberán estar libres de protuberancias, dientes, ralladuras, polvo y corrosión. Se recomienda que el muestreador contenga por lo menos seis anillos para proporcionar muestras para los diferentes ensayos.

5. Tubo de desperdicios

Deberá suministrarse un tramo de tubo o cabezote superior para desperdicios, que pueda removerse del muestreador en el campo, con espacio suficiente para el suelo originalmente alterado del fondo del hueco. La longitud de dicho tubo deberá ser al menos de tres veces su diámetro interior, el cual deberá ser igual o ligeramente mayor que el diámetro interior, de los anillos.

6. Se requiere un suplemento, válvula de cheque y uno o más agujeros de ventilación. El diseño de estos dispositivos es opcional.

7. Zapata

Deberá ser trabajada a máquina como se muestra en la Figura S0207_1. El interior de la zapata ensamblada con el muestreador encamisado con anillos, deberá ser liso, pulido y uniforme. La longitud de la extensión de pared delgada deberá ser igual a tres veces el diámetro de su abertura, pero no deberá exceder de 203 mm (8"). La relación de la luz libre interior estará entre 0.5% y 3.0% (véase la Figura S0207_1 para la fórmula de la relación de la luz libre interior). El espesor de la extensión de la pared delgada deberá estar de acuerdo con la *Tabla S0207_1*.

La extensión de la pared delgada de la zapata, deberá ser de sección completamente redonda.

No deberán emplearse zapatas que por cualquier causa dejen de ser redondas. Si la extensión de pared delgada de la zapata se deforma durante el muestreo, no deberá emplearse la muestra obtenida para ensayos como los de resistencia al corte, en los cuales la alteración del suelo es un factor importante.

8. La extensión de pared delgada de la zapata no es adecuada para suelos duros o que tengan grava.

En tales casos, es necesaria para la penetración, una zapata similar a la del tipo especificado en el *Método S0209*. Sin embargo, el empleo de este tipo de zapata, puede dar lugar a excesiva alteración del suelo, de manera que éste no sería adecuado para determinaciones de consolidación, de corte, o de ninguna de éstas.

9. Extractor de Muestras

Los anillos llenos con el material, deberán removerse del muestreador, empujándolos hacia afuera o alternativamente mediante el uso del tubo partido. El disco del extractor deberá tener por lo menos 13 mm (0.5") de espesor, y se apoyará completamente contra los anillos con muestra, en todos los puntos. Deberá deslizarse fácilmente dentro del barril muestreador, sin apretujar y sin juego libre.

10. Recipientes para anillos llenos con especímenes

Deberán ajustar estrechamente, estar herméticamente sellados (a prueba de agua), y ser rígidos de manera que no permitan movimiento de los anillos llenos con muestra. No deberán ser corrosivos.

11. Equipo misceláneo

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

Incluye una prensa para tubo, llaves de tubo, espátulas, cepillos para limpieza, baldes, trapos, formatos, cajas para transportar muestras, etc. Deberá disponerse de agua para la limpieza del equipo.

PROCEDIMIENTO

Límpiese el agujero hasta la profundidad de muestreo deseado, empleando cualquier método que se prefiera y que asegure que no alterará el material que se vaya a muestrear.

En arenas y limos saturados, levántese lentamente la barrena de perforación para evitar que se afloje el suelo alrededor del hueco. Cuando se emplee revestimiento, no deberá llevarse éste por debajo de la profundidad de muestreo. El agua o el líquido de perforación, deberá mantenerse en todo momento hasta o por encima del nivel natural freático; es preferible mantener lleno el hueco.

Manténgase un registro cuidadoso de la penetración de la barrena y de la profundidad del muestreador para asegurarse que el suelo que está siendo muestreado, es el suelo original en el fondo del hueco, y que no está contaminado por el suelo que cae de los lados del mismo. Si hay alguna tendencia apreciable de caída de suelo de los lados al fondo del hueco, úsese agua, lodo de perforación o revestimiento, para evitar que esto suceda. El proceso de inyectar a través de un muestreador de tubo abierto y muestrear luego cuando se alcanza la profundidad, no deberá permitirse. No se admitirá el empleo de barrenas de descarga de fondo.

Ármese el dispositivo de muestreo y bájese cuidadosamente dentro del hueco. Con el borde cortante de la zapata descansando sobre el suelo y con el nivel de agua a la profundidad del nivel freático o por encima de éste, empújese el muestreador mediante un movimiento continuo y sin hacerlo girar.

Empújese el mecanismo de tal manera que todos los recortes, el lodo, y el suelo alterado por la operación de penetrar, queden en el barril de desperdicios; en ningún caso, sin embargo, debe empujarse el conjunto a una profundidad mayor que la longitud total de la zapata, del muestreador y del barril de desechos. Téngase cuidado de que no se pierda nada de la muestra, por operación inadecuada de la válvula de cheque.

Cuando los suelos sean tan duros que no puedan penetrarse fácilmente por empuje, empleando procedimientos de campo generalmente aceptables, y donde la recuperación por empuje en arenas sea pobre, úsese un martillo para hincar el conjunto de muestreo. En este caso, regístrese el peso del martillo, la altura de caída y el número de golpes.

Desármese cuidadosamente el dispositivo de muestreo, de manera que se disminuya la alteración de la muestra en cuanto sea posible. Recórtense los flujos de suelo con los extremos del barril muestreador, y remuévase el espécimen (consistente del suelo más los anillos). Deslícese el recipiente sobre los anillos llenos con el espécimen y cúbranse ambos extremos.

Téngase la certeza de que no hay movimiento de los anillos llenos con el espécimen dentro del recipiente, y de que el espécimen no fue alterado mientras era removido del barril y colocado en el recipiente. Márquese el recipiente de manera adecuada. Si el suelo en el extremo del anillo no resalta sobre éste, después de remover la zapata, no debe emplearse el suelo del anillo del fondo, para ensayos diferentes a los de clasificación y contenido de agua. Si la parte superior del anillo o de los anillos contienen vacíos, depresiones o cualquier material distinto del suelo que se está muestreando, no debe emplearse el suelo de este anillo (o de los anillos) con fin alguno. No se permitirá llenar depresiones en los extremos de los anillos con suelo adicional, debiendo descartarse las muestras que parezcan cuestionables o dudosas.

Examínese el suelo remanente en la zapata en cuanto a estructura, consistencia, color y condición. Regístrense estas informaciones e inclúyanse en el informe.

-El suelo que queda en la zapata es relativamente inalterado y puede ser adecuado por consiguiente, para diferentes ensayos de laboratorio.

PRECISIÓN

Como este método no produce datos numéricos que puedan repetirse, no es aplicable a la misma una proposición de precisión y tolerancias. **Tabla S0207_1**

Tabla S0207_1 Dimensiones para la Extensión de Pared Delgada de la Zapata (1)

Diámetro Exterior								
mm	50,8	76,2	102					
pulg	2	3	4					
Espesor de la pared								
BWG	18	16	11					
mm	1,24	1,65	3,05					
pulg	0.049	0.065	0.120					

(1) Los tres diámetros indicados en esta tabla se indican con fines de normalización. Los espesores de las paredes de los diámetros intermedios de las extensiones de pared delgada, deberán ser proporcionales a las dadas en la Tabla S0207_1.

INFORME

Los datos obtenidos en cada perforación deberán registrarse en el terreno y deberán contener lo siguiente:

- a) Nombre y localización de la obra.
- b) Fecha de la perforación y horas de iniciación y conclusión.
- c) Número y localización de la perforación.
- d) Cota de la superficie del terreno, si se dispone de ella.
- e) Número y profundidad de la muestra.
- f) Método de avance del muestreador, penetración y longitudes recobradas.
- g) Descripción y tamaño del muestreador.
- h) Descripción del suelo (véase el *método S0101*).
- i) Espesor de la capa.
- j) Profundidad hasta el nivel freático o profundidad del agua en exceso y hora de la lectura.
- k) Tamaño del revestimiento, profundidad del barreno revestido.
- I) Tipo y descripción del equipo de perforación.
- m) Nombres del personal: trabajadores de la cuadrilla, ingeniero, inspector, etc.
- n) Condiciones del clima y,
- o) Observaciones generales.

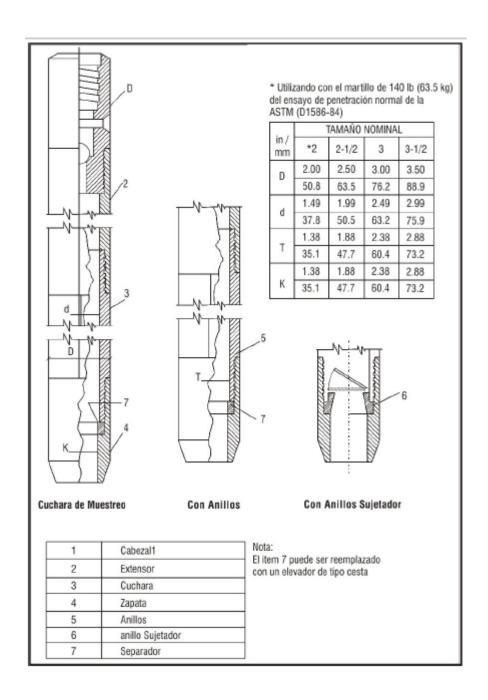


FIGURA S0207_1MUESTREADOR CON CAMISA INTERIOR DE ANILLOS

CAPÍTULO S0208 - INVESTIGACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTEBARRENAS CON VÁSTAGO HUECO (AASHTO T251)

OBJETO

Este método describe los procedimientos y el equipo necesarios para adelantar una perforación de muestreo de suelos, mediante una barrena con vástago hueco. Puede aplicarse cuando se requieran muestras representativas o muestras "in situ", o ambas, siempre que la formación del terreno sea de naturaleza no consolidada, que permita tal perforación con barrena.

Este método puede aplicarse en lugar del revestimiento para el muestreo o para la toma de núcleos, o de ambos, en cualquier formación de naturaleza tal, que permita la perforación con barrena, y cuando no se desee información alguna relacionada con resistencia al hincado, del revestimiento o del tubo guía.

DEFINICIÓN

Barrena con vástago hueco

Es una especie de barrena en forma de espiral continua, en la cual el elemento helicoidal está soldado a un tubo central hueco con un diámetro interior tal, que permita el paso de diferentes herramientas de muestreo. Los tramos de la barrena podrán ser de cualquier longitud deseada, pero deberán estar elaborados en tal forma que, cuando se conecten uno con otro, proporcionen un paso esencialmente sin restricciones, hermético e impermeable, en toda su longitud acoplada.

La distribución de la hélice deberá permitir una conducción continua de los desechos de un tramo a otro y a través de la profundidad completa del agujero de perforación.

EQUIPOS

1. Barrenas con vástago hueco, fabricadas de acero-carbono, de aleaciones de acero, o de ambos.

Deberán clasificarse como pequeñas, medianas y largas. Un dispositivo de barrena helicoidal con vástago hueco se muestra en la **Figura S0208_1**.

a) Tamaño mínimo

Los diámetros interiores deberán ser de 57.2 mm (2.25"), 82.6 mm (3.25") y 95.2 mm (3.75"). Son aceptables tamaños adicionales y mayores, con tal de que cumplan con el requisito del párrafo siguiente para la luz libre del muestreador.

- b) La holgura del muestreador deberá ser tal, que ningún muestreador o tubos sacanúcleos sea operado en, o a través de una barrena con vástago hueco, cuyo diámetro de dicho hueco sea menor del 108% del diámetro exterior del muestreador.
- c) La barrena con vástago hueco podrá avanzar y tomar núcleos, conducida por cualquier máquina de perforación que tenga suficiente fuerza de torsión y de hincado, para hacerla girar y forzar hasta la profundidad deseada, con tal de que la máquina esté equipada con los accesorios necesarios para tomar la muestra o el núcleo requerido.

PROCEDIMIENTO

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

2. Procedimiento A

Hágase avanzar la barrena de vástago hueco con tapón, hasta la profundidad de muestreo deseada. Retírese el tapón, sacando las varillas centrales de perforación y reemplácese con las herramientas requeridas para el muestreo o toma de los núcleos. Bájese la herramienta de muestreo a través de la barrena con vástago hueco, y asiéntese sobre el material inalterado en el fondo de la perforación. Procédase con la operación de muestreo, mediante rotación, presión o hincamiento de acuerdo con el método normal o el autorizado, que rija el uso de la herramienta particular de muestreo. Retírese el muestreador cargado sacando las varillas centrales.

Reemplácese el muestreador con el tapón y retórnese al fondo del hueco. Hágase avanzar la barrena de vástago hueco hasta la siguiente profundidad a la que se va a muestrear. Repítase la secuencia para cada muestra deseada.

3. Procedimiento B

Hágase avanzar la barrena de vástago hueco con el tapón en su sitio, hasta la profundidad de muestreo deseada.

Retráigase el tapón, enrollando el cable en su carrete con el martillo y el tapón ensamblados.

Sepárese el tapón del martillo y sustitúyase por el muestreador guía deseado. Con el cable, bájese dentro del hueco el martillo con el muestreador ajustado, hasta apoyarlo sobre el material inalterado expuesto en el fondo del hueco. Procédase con la operación de muestreo de acuerdo con el método normal o el aprobado que gobierne el empleo del muestreador.

Alíviese el muestreador cargado, sobre barrenando hasta que la boca de la barrena se halle a la profundidad de la zapata del muestreador o descargándola hacia atrás. Recupérese el muestreador enrollando la línea de cable con el martillo y el muestreador ensamblados.

Sepárese el muestreador del martillo y reemplácese por el tapón de la barrena, o en el caso de muestreo continuo, con otro muestreador.

Bájese dentro del hueco el martillo con el tapón o con el muestreador, y reiníciese la perforación del barreno, o continúese el muestreo en la forma apropiada para el sistema que se esté efectuando, ya sea incremental o continuo. Repítase o continúese la secuencia hasta su terminación.

4. Procedimiento C

Puede emplearse sin tapón, la barrena de vástago hueco. Cuando se emplea así, puede esperarse que se forme un tapón de suelo, en la boca de la barrena. Raras veces este tapón excederá de 102 a152 mm (4" a 6") de espesor. Normalmente los muestreadores pueden presionarse o hincarse a través de este tapón. El tapón de suelo sin embargo, llega a ser entonces la parte superior de la muestra. De acuerdo con esto, las muestras obtenidas así con la barrena de vástago hueco, deben acuñarse con pedazos de barrenas y muestreadores de desecho.

La barrena con vástago hueco puede emplearse con el tubo central lleno de un líquido a presión constante positiva, cuando se trabaje sin el tapón. El líquido podrá ser agua o lodo de perforación, sobrecargado tanto como sea necesario, para evitar la entrada de material saturado a flujo libre, dentro de la barrena.

Deberá tenerse cuidado de evitar la expulsión de la muestra por exceso de presión o peso del líquido, dentro del tubo central. Normalmente, el líquido sobrecargado deberá introducirse dentro del barreno, únicamente por gravedad, y solamente cuando sea necesario para mantener el nivel dentro del tubo central de la barrena, por encima del nivel de agua. El muestreo dentro de la barrena llena con líquido, deberá efectuarse de la manera normal prescrita para usar el muestreador especial, en una perforación llena con líquido.

5. En el caso de que haya ingreso de suelos dentro de la barrena, por pérdida de presión del líquido dentro del tubo central, o por otra causa, deberá lavarse el tubo central de la misma manera que se indica para la limpieza del revestimiento. El muestreo deberá ejecutarse entonces, como se prescribe para el empleo del muestreador especial en agujeros llenos de líquido; sin embargo, el informe de perforación deberá indicar siempre, que la pérdida de suelo ocurrió antes de efectuado el muestreo.

El flujo de material no cohesivo en el fondo de cualquier tipo de perforación, normalmente hace que se afloje el material a ese nivel o por debajo del fondo y por ello una muestra, o el valor "N" tomado, pueden no ser verdaderamente representativos de la condición inalterada del material.

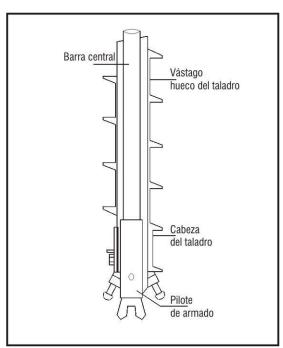


FIGURA S0208_1 DISPOSITIVO DE BARRENA HELICOIDAL CON VÁSTAGO HUECO

CAPÍTULO S0209 MÉTODO DE PENETRACIÓN NORMAL Y MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS (ASTM D1586 AASHTO T206)

OBJETO

Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS APLICABLES

1. Cabezal

La pieza cilíndrica que el martillo o pesa golpea y a través del cual la energía se transmite a las varillas o tubos de perforación.

2. Cilindro de rotación

El tambor de rotación o torno, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo, halando y aflojando sucesivamente el cable envuelto alrededor del cilindro.

3. Barras o tubos de perforación

Barras o tubos empleados para transmitir hasta abajo, la fuerza y el giro a la broca de perforación, mientras se perfora el hueco. También se emplean para avanzar por simple percusión y lavado.

4. Martinete

Conjunto de equipos consistente en un martillo o pesa, guía para la caída de éste, cabezote, y cualquier sistema que haga caer el martillo.

5. Martillo o pesa

La parte del martinete que consiste de una pesa que produce el impacto, la cual sucesivamente se levanta y suelta para que al caer, proporcione la energía necesaria para efectuar el muestreo y la penetración.

6. Sistema de caída del martillo o pesa

La parte del martinete mediante la cual el operador logra el levantamiento y la caída del martillo o pesa para producir el golpe.

7. Guía para la caída del martillo o pesa

Aquella parte del martinete empleada para dirigir la caída del martillo.

8. Valor de N

Cuenta del número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor de N, relacionado como golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar él toma muestras en el intervalo de profundidad de 150 a450 mm (6 a 18") (véase el numeral 24).

9. ΔNEI número de golpes obtenidos en cada uno de los intervalos de 150 mm (6") de la penetración del muestreador **(véase 24)**.

10. Número de vueltas del cable

El ángulo de contacto total entre el cable y el Malacate de rotación, desde el comienzo del aflojamiento del cable por el operador, hasta la caída del martillo, dividido por 360° (véase Figura \$0209_1).

11. Varillas o tubos de muestreo.

Varillas o Tubos que conectan el dispositivo del martinete con el muestreador.

12. S.P.T.

Abreviatura para el ensayo de penetración normal, con la cual puede hacerse referencia al método.

USO Y SIGNIFICADO

Este método proporciona una muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador, el cual puede producir gran alteración en la muestra debido a la deformación por corte.

El método es ampliamente usado en la gran mayoría de proyectos de exploración geotécnica, y por tanto pueden existir correlaciones locales de la cuenta de golpes N, con el comportamiento en ingeniería de obras de tierra y fundaciones.

EQUIPOS Y MATERIALES

13. Equipo de Perforación

Será aceptable cualquier equipo de perforación, de potencia y características tales que produzca los resultados deseados. Los siguientes aditamentos del equipo, se consideran satisfactorios para el avance de una perforación en el subsuelo.

-Las brocas o puntas cola de pescado, cincel, estrella, aguda, etc., con diámetros menores de 162 mm (6.5") y mayores de 56 mm (2.2"), pueden emplearse con equipo de perforación o de percusión y lavado, rotatorio para abrir el hueco, o para el avance del revestimiento de perforación.

Para evitar la alteración del suelo subyacente, no se permiten brocas o puntas de descarga de fondo y solamente se permiten brocas de descarga lateral. - Las brocas ciegas apisonadoras cónicas, con diámetros menores de 162 mm (6.5") y mayores de 56 mm (2.2"), pueden emplearse con equipos de rotación o para el avance del revestimiento, si la descarga del lodo de perforación se desvía.

-Las barrenas de espiral continua para huecos superficiales, con o sin un dispositivo de broca en el centro, pueden emplearse para perforar el hueco. El diámetro interior de las barrenas de vástago vacío deberá ser menor de 162 mm (6.5") y mayor de 56 mm (2.2").

-Las barrenas u hoyadores manuales, de cuchara sólida, carrera continua, menores de 162 mm (6.5") y mayores de 56 mm (2.2") de diámetro, pueden emplearse si el suelo del hueco no se derrumba formando cavidades y atascando él toma muestras o los tubos de perforación durante el muestreo.

14. Varillas (Tubería) para Muestreo

Tubos de perforación de acero con uniones para conectar el muestreador de tubo partido al cabezote y la guía, sobre los cuales cae la pesa (martillo).

El tubo para muestrear deberá tener una rigidez (proporcional al momento de inercia) igual o mayor que el de una similar de tamaño "A" ("A" es un tubo de acero con diámetro exterior de 41,2 mm = 1 5/8" y un diámetro interior de 28,5 mm = 1 1/8").

Nota 1: Investigaciones recientes y ensayos comparativos indican que el tipo de tubería empleada, con rigideces que varían desde la de las de tamaño "A" hasta las de tamaño "N", tendrá generalmente un efecto despreciable en los valores de N hasta profundidades de 30 metros (100 pies), por lo menos.

15. Muestreador de Tubo Partido

Deberá construirse con las dimensiones indicadas en la Figura S0209_2. La zapata guía o punta deberá ser de acero endurecido y reemplazarse o repararse cuando se torne dentada o se distorsione. Se permite el uso de una camisa interior delgada, para producir un diámetro interior constante de 35 mm (1 3/8"), pero si se usa, esto deberá anotarse en el registro de la perforación. Se permite el empleo de una canastilla retenedora de la muestra, lo cual deberá anotarse en el registro.

Nota 2: Tanto la teoría como los datos disponibles de ensayos, sugieren que los valores de N pueden aumentarse en un 10 a 30% cuando se usa camisa interior.

16. Martinete o Equipo de Hincado

-Martillo y cabezote.- El martillo deberá pesar $63,5 \pm 1$ Kg. $(140 \pm 2 \text{ libras})$ y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el cabezote y poner en contacto el acero con el acero cuando cae. Deberá emplearse una guía para permitir caída libre. Los martillos empleados con malacate y cable, deberán tener una capacidad libre de levantamiento de por lo menos 100 mm (4"). Por razones de seguridad, se aconseja el empleo de un dispositivo de martillo con cabezote interior.

Nota 3: Se sugiere que la guía del martillo esté marcada permanentemente, para permitir al operador o al inspector, el uso de la altura correcta de caída del martillo.

-Sistema de caída del martillo. Pueden emplearse malacate o tambor, cable de recorrido, semiautomático, o sistema automático de caída del martillo, previendo que la caída del dispositivo no cause penetración del muestreador mientras se ajusta y se levanta el martillo.

17. Equipo Accesorio

Deben proporcionarse accesorios tales como marcadores, recipientes para muestras, parafina, hojas para datos y dispositivos para medir el nivel freático de acuerdo con las exigencias del Proyecto.

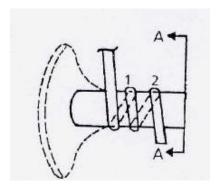


Equipos y Materiales utilizados

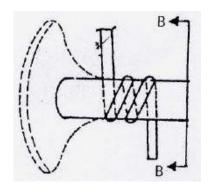
INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN

Nota 4:Antes de comenzar cualquier perforación, se debe:

- Revisar que el equipo se encuentre en condiciones operativas y ningún implemento presente defectos, que afecten los trabajos de perforación.
- Localizar previamente por tanteo u otros medios (inf. De la empresa u organismo al que pertenezcan los servicios) cualquier cable subterráneo, tuberías de gas, agua u otros servicios públicos cercanos al lugar de la perforación.
- 18. Una vez ubicado el sitio de perforación se levanta el trípode, con la polea acoplada a él.
- **19.** La separación entre las patas del trípode debe ser equidistante con una separación aproximada de 4,30 m para que alcance una altura de 5 m aproximadamente. Con un nivel o plomada verifique la nivelación del equipo.
- **20.** Se hace pasar el mecate por el canal de la polea y se sujeta, enrollándolo en el cilindro rotatorio de la máquina. Existen dos formas de enrollar el mecate en el cilindro rotatorio:
 - a) Aproximadamente ¾ vueltas en el sentido inverso del reloj.
 - b) Aproximadamente 2 ¼ vueltas en sentido de las agujas del reloj.



Enrollado de 3/4 de vuelta del mecate al cilindro rotatorio



Enrollado de 2 % de vuelta del mecate al cilindro rotatorio

- 21. Se ensambla el tubo de perforación, el muestreador y se acopla al cabezal del martinete.
- **22.** Una vez ensamblado el equipo; se señalará el sitio donde se comenzara el sondeo, se pone en funcionamiento el motor; se suspende el martillo con el mecate hasta una altura aproximada de 1 m, dejándose caer libremente sobre la superficie del terreno.





Ensamblado de los Accesorios

Ensayo con el Equipo

23. En el círculo interior de la huella dejada por el martillo se abre un hoyo de 15 cm de profundidad y 10 cm de diámetro, esto se hace con el fin de eliminar la capa de material suelto o la capa vegetal.



Apertura del Hoyo

PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN

- **24.** Deberá hacerse avanzar la perforación por incrementos, de manera que permita una toma de muestras intermitente o continua. Generalmente, se estipulan los intervalos y profundidades de ensayos. Típicamente, el intervalo escogido es de 1,5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con su respectivo muestreo a cada cambio de estrato.
- **25.** Podrá aceptarse cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable, antes de insertar el muestreador, y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados.

Deberán considerarse las condiciones subterráneas esperadas, cuando se escoge el método de perforación. Los procedimientos siguientes pueden considerarse aceptables:

- -Método para efectuar la perforación mediante rotación y lavado. (Comúnmente con revestimiento).
- -Método continuo mediante una barrena de espiral con vástago vacío.
- -Método con lavado, comúnmente con camisa de revestimiento.
- **26.** Algunos métodos de perforación producen huecos inaceptables. No se permitirá el proceso de inyectar agua a través de un tubo muestreador abierto y cuando se alcanza la profundidad deseada, tomar la muestra. Tampoco deberá avanzar el revestimiento por debajo de la profundidad de muestreo antes de efectuado éste. No se permite avanzar un hueco con brocas de descarga de fondo, pero pueden aceptarse brocas de descarga lateral.
- **27.** El nivel del fluido de perforación dentro del hueco o dentro de los barrenos de vástago vacío debe mantenerse en o sobre el nivel freático del sitio durante todo el tiempo que dure la perforación, la remoción de la tubería y el muestreo.

MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

- **28.** Después que haya avanzado la perforación hasta la profundidad deseada y que se haya limpiado en tal forma que se garantice que el material por ensayar no se encuentra alterado, se prepara el muestreo con la secuencia de operaciones que se indica:
 - Conéctese el tubo partido a la tubería de perforación y bájese dentro del hueco, dejándolo caer suavemente, sin permitir que se introduzca dentro del suelo que va a ser muestreado.
 - Colóquese el martillo en posición e instálese el cabezote en la parte superior de la tubería de perforación.
 - Déjese en reposo el peso muerto del muestreador, tubería y cabezote, sobre el fondo del hueco y aplíquese un golpe de asentamiento. Si se hallan recortes excesivos en el fondo del hueco, extráigase el muestreador y la tubería para eliminar los recortes.
 - Márquese el extremo superior de la tubería de perforación en tres incrementos sucesivos de 0,15 m (6") de manera que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo, pueda ser observado fácilmente para cada incremento de 0,15m (6").



Marcado Longitud a **Penetrar**



Sujeción de la Tubería

- 29. Hínquese el muestreador con golpes del martillo de 63,5 kg (140 lb), con caída de 0,76 m (30"), cuéntese el número de golpes aplicados a cada incremento de 0,15 m (6"), hasta cuando ocurra una de las siguientes condiciones.
 - -Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0,15 m (6") vistos en el numeral 22.
 - -Que se haya aplicado un total de 100 golpes para 0,30 m (12").
 - -Que no se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
 - -Que el muestreador avance 0,45 m (18") completos, sin alcanzar las cuentas límites de golpes, descritas anteriormente.
- 30. Regístrese el número de golpes requeridos para efectuar cada 0,15 m (6") de penetración o de la fracción correspondiente. Se considera que los primeros 0,15 m (6") son para una penetración de asentamiento. La suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer avance de 0,15 m (6") de penetración, se llama la "resistencia a la penetración normal" o valor "N".Si el muestreador se introduce menos de 0,45 m (18"), el número de golpes para completar cada incremento de 0,15 m (6") y para cada incremento parcial deberá anotarse en el registro de la perforación.

Para incrementos parciales, la penetración deberá informarse con precisión a 25 mm (1"), en adición al número de golpes. Si avanza el muestreador por debajo del fondo del hueco bajo el peso estático de la tubería de perforación o bajo el peso de ésta más el peso estático del martillo, deberá anotarse esta información en el registro de la perforación.

31. La elevación y caída del martillo de 63,5 kilogramos (140 libras), deberá obtenerse empleando cualquiera de los siguientes métodos.

Empleando para la caída del martillo un sistema semiautomático ó automático que levante amos (140 libras) del martillo y los deje caer sin ningún obstáculo en 0,76 m ± 25 mm (30 ± 1.0").

Empleando un malacate o cilindro de rotación para hallar un cable atado al martillo. Cuando se usa el método del cable con malacate o cilindro de rotación el sistema y la operación deberán cumplir con lo siguiente:

- -El cilindro de rotación deberá estar esencialmente libre de polvo, aceite o grasa y tener un diámetro dentro del intervalo de 150 a250 mm (6 a 10").
- -El malacate deberá operarse a una velocidad mínima de 100 rpm, o la velocidad aproximada de rotación deberá informarse en el registro de la perforación.
- -No deberán emplearse más de 2¼ vueltas de cable sobre el cilindro del malacate durante la ejecución del ensayo de penetración, como se muestra en la *Figura S0209_1*.

Nota 5: El operador generalmente deberá emplear 1 ¾ o 2¼ vueltas del cable, dependiendo de si éste se pone en contacto en la parte superior (1 ¾ vueltas) o en el fondo (2¼ vueltas) del cilindro de rotación. Generalmente se sabe y acepta que más de 2 ¾ vueltas de cable impiden la caída adecuada del martillo y no deberán emplearse para efectuar el ensayo. El cilindro de rotación del cable deberá mantenerse en una condición relativamente seca, limpia y sin desgaste.

- -Para cada golpe del martillo, el operador deberá emplear un levantamiento y una caída de 0,76 m (30"). La operación de halar y aflojar el cable deberá efectuarse rítmicamente sin mantener el cable en la parte superior de la carrera.
- **32.** Sáquese el muestreador a la superficie y ábrase. Regístrese el porcentaje de recuperación o longitud de la muestra recobrada. Descríbase la muestra de suelo recobrada, en cuanto a su composición, con color, estratificación y condición; colóquense luego una o más partes representativas de la muestra en frascos o recipientes sellados para el ensayo de humedad, sin que se compacte o distorsione cualquier estratificación aparente.



Sacamuestra



Medida de la Longitud de la Muestra

Séllese cada recipiente para evitar la evaporación de la humedad del suelo. Pónganse etiquetas a los recipientes con el nombre de la obra, el número de la perforación, la profundidad, la cuenta de golpes para cada incremento de 15 mm (6") y la descripción del material. Protéjanse las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si hubiere un cambio de suelo dentro del muestreador, úsese un frasco para cada estrato y anótese su localización dentro del muestreador.





Desacople de la Punta del Saca muestra Envases Sellados con las Muestras

INFORME

- **33.** La información de la perforación deberá registrarse en el campo y deberá incluir lo siguiente:
 - a) Nombre y localización de la obra.
 - b) Nombres del grupo: Ingeniero supervisor, laboratorista inspector, operador, auxiliar y ayudantes.
 - c) Tipo y marca del equipo de perforación.
 - d) Condiciones meteorológicas.
 - e) Fechas de iniciación y conclusión del sondeo.
 - f) Número de la perforación y su localización (abscisa o distancias a algún eje de referencia).
 - g) Elevación de la perforación, comúnmente con relación a un perfil del sitio de la obra.
 - h) Método de avance y limpieza de la perforación.
 - i) Método para mantener abierto el hueco de la perforación.
 - j) Profundidad hasta el nivel de agua, hasta el nivel de pérdida de agua, hasta el nivel artesiano; tiempo y fecha de cuando se hicieron las respectivas lecturas o anotaciones.
 - k) Localización de los cambios de estratos.
 - I) Tamaño del revestimiento, profundidad de la parte revestida de la perforación.
 - m) Equipo y método de hinca del muestreador.
 - n) Tipo de muestreador, su longitud y diámetro interior (anótese el empleo de camisa interior de pared delgada).
 - o) Tamaño, tipo y longitud de la tubería de muestreo.
 - p) Observaciones.
 - q) Los datos obtenidos para cada muestra deberán anotarse en el campo y deberán incluir lo siguiente:
 - r) Profundidad y/o número de la muestra.
 - s) Descripción del suelo.
 - t) Cambios de estratos dentro de la muestra.
 - u) Penetración del muestreador y longitudes recobradas.
 - v) Número de golpes para cada 0,15 m (6"), o incremento parcial.

PRECISIÓN

- **34.** Se han observado variaciones de los valores de N, cuando se emplean diferentes aparatos y perforadores para el ensayo de penetración, para sondeos adyacentes en la misma formación de suelo. La opinión corriente, basada en la experiencia de campo, indica que cuando se usa el mismo aparato y el mismo perforador, los valores de N en el mismo suelo pueden tener una variación de alrededor del 10%.
- **35.** El empleo de equipo defectuoso, como por ejemplo un cabezote extremadamente pesado o dañado, un tambor de rotación empolvado y de baja velocidad, una manila muy gastada, un cable viejo aceitoso, poleas pobremente lubricadas, etc., pueden contribuir significativamente a diferencias en los valores de N, obtenidos con el mismo operador y el mismo sistema de aparejo de perforación.
- **36.** La variabilidad en los valores de N producidos por diferentes equipos de perforación y operadores, puede evaluarse midiendo la parte de energía del martillo liberada sobre la tubería de perforación del muestreador, y ajustando el valor de N sobre la base de energías comparativas.

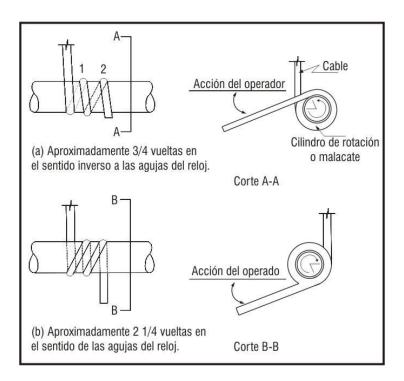


FIGURA S0209_1DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE VUELTAS DEL CABLE Y EL ÁNGULO PARA LA ROTACIÓN DEL MALACATE A) EN SENTIDO CONTRARIO A LAS AGUJAS DEL RELOJ Y B) EN SENTIDO DE LAS AGUJAS DEL RELO

FIGURA S0209_2 MUESTREADOR DE TUBO PARTIDO

CAPÍTULO S0210- TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO NLT 203)

OBJETO

En este método se describe la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven la estructura y humedad que tienen en su estado natural, cuando pueden tomarse superficialmente o de una profundidad a la que se llega por excavación a cielo abierto o de una galería.

Las dimensiones, forma y demás características de las muestras inalteradas, dependen del tipo de ensayo al cual van a estar sometidas.

Básicamente hay tres procedimientos generales para tomar este tipo de muestras:

- a) Muestras en bloque o muestra-trozo, tomadas de la superficie del terreno, del fondo de un pozo o del piso de una galería.
- b) Muestras en bloque, tomadas de una pared vertical de un pozo o galería.
- c) Muestras cilíndricas.

EQUIPOS Y MATERIALES

Se deben elegir las herramientas cortantes más adecuadas para cada tipo de suelo:

- **1.** Herramientas para tallar la muestra, (paleta, cuchillos, martillo, cincel, palustres, sierra de alambre, etc.).
- **2.** Hornillo, para calentar la parafina.
- **3.** Recipientes, de diferentes tamaños y formas.
- **4.** Herramientas para excavar.
- **5.** Moldes cilíndricos o latas, con borde afilado y firme.
- **6.** Parafina, vendas de malla abierta y brocha para aplicar la parafina.
- **7.** Estopilla de algodón, aserrín, paja húmeda, etc., para empacar la muestra.
- **8.** Tela plástica, papel parafinado, cuerda y demás elementos para envolver.

PROCEDIMIENTO

Muestras en bloque de la superficie del terreno, fondo de un pozo o piso de una galería

- 9. Se descubre la capa de la que se pretende tomar la muestra, bajando la excavación a la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya pérdida de humedad.
 - Se alisa la superficie marcando el contorno de que ha de ser la cara superior de la muestra.
- 10. Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cm. con el propósito de que esta operación de excavación, no afecte la muestra. La zanja deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado "in situ" y corte.

- 11. Con las herramientas apropiadas, se le da forma cúbica y el tamaño final que ha de tener, cuidando la muestra, a medida que el tallado se acerca a la cara superior y las cuatro caras laterales.
- 12. Una vez que la zanja esté suficientemente honda y las caras perfiladas, se extrae la muestra, cortándola con un cuchillo, paleta, u hoja de sierra, y se retira cuidadosamente.
- 13. Si la muestra tiene suficiente consistencia, se talla la cara inferior antes de proceder a parafinarla aplicando con una brocha, una primera capa de parafina y a continuación se cubre con venda. Se repite el proceso hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.
- 14. Si la muestra no tiene suficiente consistencia, antes de retirarla de la excavación, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras, laterales, deben parafinarse, en la forma indicada en el párrafo anterior. Se confina con la caja de empaque prevista y luego se corta retirándola de la excavación, parafinando la última cara una vez perfilada.
- 15. Cuando por circunstancias de clima o acción directa del sol, se puede presentar pérdida apreciable de humedad, se deberá parafinar cada cara en forma inmediata a su talla, terminando estas labores de parafinado, cuando se desprenda la muestra por su cara inferior.
- **16.** Antes de cerrar el empaque se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información:
- 17. Procedencia, situación (se marcan las caras superior e inferior), profundidad y ubicación dentro de la obra; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas.
- **18.** Muestras En Bloque De La Pared Del Pozo O Galería.
- 19. Se rebaja la pared escogida, hasta que el terreno descubierto se encuentre cerca del suelo que conformará la muestra, previendo que este último conserve sus condiciones originales de humedad y estructura. Se alisa la superficie y se marca el contorno.
- **20.** Se excava alrededor y por detrás, dando forma al trozo, afinándolo hasta donde sea posible.
- **21.** Se corta el trozo y se retira del hoyo, procediendo a su parafinado y empaque como se describió anteriormente.

Muestras Cilíndricas

- 22. Estas muestras se pueden tomar directamente usando un anillo tomamuestras de filo cortante que se ajusta al molde que tenga las dimensiones requeridas, o también con un pote de hojalata común, con un trozo de tubo o con cualquier otro recipiente metálico que tenga dimensiones adecuadas. La secuencia es la siguiente:
- **23.** Se alisa la superficie del terreno y se aprieta el molde con el anillo contra el suelo, aplicando una presión moderada.
- 24. Se excava la zanja alrededor del cilindro; manteniendo la presión hacia abajo. Se corta el suelo del lado exterior del anillo con el cuchillo, haciendo el corte hacia abajo y hacia afuera, para evitar afectar la muestra y para que el suelo continúe penetrando dentro del cilindro.
- **25.** Se excava la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetre bien dentro del cilindro.
- **26.** Se corta la muestra por la parte baja del cilindro con una pala, cuchillo o sierra y se retira del hoyo.

- **27.** Tanto la superficie superior como la inferior deben recortarse a ras. Se protegen los extremos con discos de madera y se rebordean y atan con cinta aislante u otro material adecuado.
- **28.** Cuando se utilice como molde un pote de hojalata, el fondo se agujerea antes de hincarlo y luego de llenarlo con muestra, se sellan los agujeros con parafina, así como la superficie superior, cuando se haya cortado la muestra.

CAPÍTULO SO3 ENSAYOS RELACIONADOS A LA CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

CAPÍTULO S0301 - DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO AGREGADO (ASTM D2216)

OBJETO

Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra "material" se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

Este método no da resultados verdaderamente representativos para materiales que contengan cantidades significativas de haloisita, montmorillonita, o minerales de yeso; suelos altamente orgánicos o materiales en los cuales el agua de los poros contiene sólidos disueltos (como sales en el caso de depósitos marinos). Para los materiales antes mencionados, un método modificado de ensayo o el cálculo previo de algunos datos pueden ejecutarse para obtener resultados consistentes con el propósito de este método.

USO Y SIGNIFICADO

Para muchos tipos de suelo, el contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dicho suelo y otras propiedades índices.

El contenido de agua de un suelo se usa en casi todas las ecuaciones que expresan las relaciones de fase entre aire, agua y sólidos, en un volumen dado de material.

En suelos de grano fino (cohesivos), la consistencia depende de su contenido de agua. El contenido de agua de un suelo, junto con sus límites líquidos y plástico, son usados para expresar su consistencia relativa, o índice de liquidez.

El término "agua" como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como el agua de "poros" o agua "libre" y no aquél que está hidratando las superficies minerales (agua de constitución).

Por lo tanto, el contenido de agua de materiales que tienen cantidades significativas de agua hidratada, (agua de constitución), a temperatura ambiente o menor de 110°C (230°F) puede ser engañoso.

El término de "partículas sólidas" como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como las partículas minerales que se encuentren en su estado natural que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua de los materiales que contienen materias extrañas (como cemento), materiales solubles en agua (como sal) y materia altamente orgánica, normalmente requieren de un tratamiento especial, o de una definición calificada del contenido de agua.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Horno

Controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) en toda la cámara de secado.

2. Balanzas

Que tengan una precisión de \pm 0.01 g para muestras que tengan un peso de 200 g o menos; \pm 0.1 g para muestras que tengan un peso entre 200 y 1000 g, y \pm 1 g para muestras que tengan un peso mayor a 1000 g.

3. Recipientes

Vasijas apropiadas hechas de un material resistente a la corrosión y a cambios en su peso al ser sometidas a repetidos calentamientos y enfriamientos, y a operaciones de limpieza.

Para muestras con peso menor o próximo a 200 g, se usarán recipientes con tapas de cierre hermético; mientras que para muestras de peso mayor que 200 g se usarán recipientes sin tapa

(Nota 1). Se necesita un recipiente para cada determinación del contenido de agua.

Nota 1: El propósito de las tapas de cierre hermético es doble: prevenir las pérdidas de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y para evitar la absorción de humedad proveniente de la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.



Equipos Requeridos

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

4. Muestras

Manténganse las muestras que estén almacenadas, antes del ensayo, en recipientes no corrosivos, herméticos, a una temperatura entre 3 y 30°C y en un área, en la que no tengan contacto directo con la luz solar (cuarto oscuro).

La determinación del contenido de agua, deberá hacerse tan pronto como sea posible, después de la preparación de la muestra, especialmente si se usan recipientes potencialmente oxidables (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.).

5. Espécimen de Ensayo

- a) Para la determinación del contenido de agua, hecho en conjunto con otros ensayos, el método de selección de la muestra está gobernado por el ensayo más elaborado.
- b) La manera como se selecciona dicha muestra y el peso requerido, básicamente dependen del propósito (aplicación) del ensayo, del tipo de material que está siendo probado, y del tipo de muestra.

En todos los casos, sin embargo, una porción representativa de la muestra total debe ser seleccionada. Si un suelo está estratificado o se encuentra más de un tipo de suelo, selecciónese una porción promedio o porciones individuales o ambas, y especifíquese en el informe de resultados cual porción fue utilizada.

Para suelos gruesos, selecciónese la muestra del material después de que éste haya sido mezclado completamente. El peso del material húmedo escogido debe responder a la **Tabla 50301** 1:

TABLA S0301_1. PESO DE LA MUESTRA HUMEDAD

Tamiz que retiene más del 10% de la muestra	Peso recomendado de la muestra húmeda (g)
2.00 mm (No. 10)	100 a 200
4.75 mm (No. 4)	300 a 500
19.00 mm (¾")	500 a 1000
37.50 mm (1 ½")	1500 a 3000
75.00 mm (3")	5000 a 10000

Para muestras pequeñas, selecciónese una porción representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Para suelos no cohesivos, mézclese completamente el material, luego selecciónese un espécimen de prueba que tenga un peso de material húmedo de acuerdo con la tabla anterior (Véase Nota 2).

Para suelos cohesivos, remuévase aproximadamente 3 mm de material del perímetro expuesto de la muestra y secciónese éste a la mitad (para ver si el material está estratificado) antes de seleccionar el espécimen de muestra. Si el suelo está estratificado (veáse 5 b)), la masa del material húmedo seleccionado no debe ser menor de 25 g; o debe estar de acuerdo con la Tabla S0301_1, si se notan partículas de grano grueso (Nota 2).

c) Usar una muestra de ensayo, más pequeña que el mínimo peso indicado previamente, requiere discreción. Sin embargo, esto puede ser adecuado para el propósito del ensayo. Si una muestra tiene un peso menor que aquél previamente indicado, el hecho debe ser registrado en el informe de resultados.

Nota 2: En muchos casos, cuando se está trabajando con una muestra pequeña que contiene una cantidad relativamente grande de partículas de grano grueso, es apropiado no incluir estas partículas en el espécimen de prueba. Si esto ocurre, se debe anotar en el informe de resultados.

PROCEDIMIENTO

a) Escójase una muestra de ensayo representativa de acuerdo con el punto 4.

b) Colóquese la muestra húmeda en un recipiente limpio, seco, de peso conocido (Nota 3); colóquese la tapa firmemente en posición, y determine el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada. Anótense los valores.



Pesado de la Muestra

c) Remuévase la tapa y colóquese el recipiente con el material húmedo en un horno, manteniendo la temperatura a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) y séquese hasta obtener peso constante. (Notas 4, 5 y 6)

Nota 3: Para facilitar el secado al horno de muestras de ensayo muy grandes, éstas deben ser colocadas en recipientes que tengan un área superficial amplia (como una bandeja) y el material separado en pequeños grupos.

Nota 4: El tiempo requerido para obtener un peso constante variará dependiendo del tipo del material, tamaño de la muestra, tipo del horno, su capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede establecerse con un buen juicio, y experiencia con los materiales que se están ensayando y el aparato que se está usando.

En la mayoría de los casos, el secado de una muestra durante la noche (16 horas), es suficiente. En los casos donde existan dudas concernientes a lo adecuado del procedimiento de secado, éste debe conducirse hasta que el peso, después de dos períodos de secamiento consecutivos (mayores de 1/2 h.) indique un cambio insignificante (menor al 0.1%). Las muestras de arena, se pueden frecuentemente secar a un peso constante después de periodos de 4 horas, cuando se usa un horno de corriente de aire forzada.

Nota 5: Del secado en horno a $110 \pm 5^{\circ}$ C ($230 \pm 9^{\circ}$ F) no siempre resultan valores del contenido de agua relacionados al uso que pretende dársele o la definición básica, especialmente para materiales que contienen yeso u otros minerales que incluyan una cantidad significativa de agua hidratada (agua de constitución), o para suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En muchos casos, y dependiendo del uso que se pretende dar a estos materiales, puede ser mejor mantener el horno de secado a una temperatura de $60 \pm 5^{\circ}$ C ($140 \pm 9^{\circ}$ F) o usar un secador de vacío a una presión de vacío de 133Pa (10 mm de Hg) y a una temperatura que varíe entre $23 \text{ y } 60^{\circ}$ C ($73 \text{ y } 140^{\circ}$ F). Si se usa cualquiera de estos métodos de secado, se debe anotar en el informe de resultados.

Nota 6: Ya que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, dichos materiales deben removerse antes de colocar aquellos en el horno. Sin embargo, este requerimiento no será necesario si los especímenes secos van a permanecer en el horno por un período de secado adicional de 16 horas.



Secado de la Muestra Húmeda

d) Después que el material se haya secado a peso constante, remuévase el recipiente del horno y colóquese la tapa. Permítase que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente, o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no esté afectada por corrientes convectivas. Determínese el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno usando la misma balanza que usó en b.). Consérvese este valor.

Si el recipiente no tiene tapa, pésese el material inmediatamente para que la temperatura del recipiente sea tal que la operación del pesaje no sea afectada por corrientes convectivas o después de enfriarlo en un secador.

Nota 7: El enfriamiento en secador es recomendable ya que esto previene absorción de humedad proveniente de la atmósfera durante dicho proceso.



Pesado de la Muestra Secada al Horno

CÁLCULOS

Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$W = ((W1-W2)/(W2-Wc)) \times 100 = (Ww/Ws) \times 100$$

Donde:

w = Contenido de agua %.

W1= Peso del recipiente y del espécimen húmedo, g.
 W2= Peso del recipiente y del espécimen seco, g.

Wc= Peso del recipiente, g. Ww= Peso del agua, g, y

Ws= Peso de las partículas sólidas, g.

INFORME

El informe (hoja de datos) debe incluir lo siguiente:

- Identificación de la muestra (material), por número de perforación, número de muestra, ensayo número, etc.
- El contenido de agua del espécimen, aproximado al 0.1% ó 1% dependiendo del propósito del ensayo.
- Indicación del espécimen de muestra que tenga un peso menor al mínimo indicado en el punto 5.
- Indicación del espécimen de muestra que contenga más de un tipo de suelo (por capas, etc).
- Indicación del método de secado si es diferente al de horno a 110° ± 5°C (230 ± 9°F).
- Indicación de cualquier material (tamaño y cantidad) excluido del espécimen de prueba.

OBSERVACIONES

Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas de la humedad.

- a) Muestra demasiado pequeña: mientras más grande es la muestra, más precisa es la determinación, debido a que se usan pesos mayores.
- b) Pérdida de humedad antes del pesado de la muestra húmeda: aún en el recipiente cubierto, la muestra puede perder una cantidad significativa de agua, a menos que la pesada se realice pronto.
- c) La muestra se saca del horno antes de obtener la condición de peso constante.
- d) Ganancia de humedad antes de que la muestra secada al horno se haya pesado.
- e) Pesar la muestra secada al horno cuando aún está caliente. La precisión de una balanza sensible puede ser afectada, por estar caliente la muestra y/o el recipiente al realizar la pesada.
- f) Peso incorrecto del recipiente.
- g) Temperatura incorrecta del horno.

ENSAYO DE HUMEDAD

PLANILLA S0301_1 DETERMINACIÓN DE ENSAYO DE HUMEDAD

OBRA: Ø № SOLIC. SERV.:										
⁽³⁾ U8O:				**PROCEDENC	CIA:			•		
[®] № LAB.	(FECHA	(7) IDENTIFICACION	⁽⁸⁾ Nº ENSAYO	(R) N° ENVASE		(11) ENVASE + SUELO HUMEDO (0)	(12) ENVASE + SUELO SECO (0)	SUELO SECO (g)	(14) PESO AGUA (Q)	(15) CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)
™ OBSER	VACIONES:									
	REALIZADO	POR:					REVISADO PO	R:		

TABLA S0301_2 MANUAL DEL USUARIO

(1) OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar
(2) Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el Nº de solicitud de servicio con la cual se contrato el ensayo
(3) UBO: Se debe indicar cual será o es uso del material a ensayar
(4) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra
(5) Nº DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio
(5) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza el ensayo humedad
(5) FECHA: 8e debe colocar la fecha en que se realiza el ensayo
(7) IDENTIFICACION: Se debe colocar la identificación de cada muestra
(8) Nº DE ENBAYO: Se debe identificar cada ensyao a realizar
(9)Nº ENVAGE: identificación de la tara o el envase
(10) PEBO ENVABE: 8e debe anotar el peso del envase vacio en gramos
(11) ENVASE + SUELO HUMEDO: Se debe anotar el peso del envase con el contenido de muestra en gramos
(12)ENVABE + SUELO SECO: Se debe anotar el peso del envase con el contenido de muestra ya secada en gramos
(13)BUELO SECO: Es igual a la diferencia obtenida del resultado de la columna (13) - columna (11)
(14)PESO DEL AGUA: Es igual a la diferencia obtenida del resultado de la columna (12 - columna (13)
(15)CONTENIDO DE HUMEDAD: Es igual a (() columna 12 - columna 13) - columna 14)/columna 15)*100
(16) OBSERVACIONES: Se debe anotar cualquier comentario relevante que se quiera resaltar

CAPÍTULO S0302 - ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 AASHTO T88)

OBJETO

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra de suelo.

Nota 1: Para determinar la distribución por tamaños de la fracción bajo tamiz 0,075 mm (Nº 200), se puede utilizar el procedimiento de sedimentar esa fracción en un líquido conocido, generalmente agua destilada, basándose en la Ley de Stokes, que establece que en un fluido de densidad y viscosidad determinada, esferas de un mismo material adquieren una velocidad de sedimentación proporcional alcuadrado de sus diámetros. Este procedimiento se conoce como método del hidrómetro.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente donde se va a pesar; la precisión debe ser de 0,1 g para muestras menores que 1.000 g y de 1 g para muestras mayores que 1.000 g.

2. Tamices

Deben ser tejidos, de alambre, abertura cuadrada, tensados. Los tamaños nominales de las aberturas pertenecen a la serie que se indica en la *Tabla S0302_1*.

TABLA S0302	1.	SERIE	DE	TAMICES
--------------------	----	--------------	----	----------------

Tamaños nominales de abertura					
(mm)	ASTM				
75	(3")				
63	(2½")				
50	(2")				
37,5	(1½")				
25	(1")				
19	(3/4")				
9,5	(3/8")				
4,75	(N° 4)				
2	(N° 10)				
0,425	(N° 40)				
0,075	(N° 200)				

Nota 2: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices pueden ser los correspondientes a ASTM.

3. Marcos

Metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Serán circulares, con diámetros de 200 mm y preferentemente de 300 mm para suelos gruesos.

4. Depósito Receptor

Cada juego de tamices estará provisto de un depósito que ajuste perfectamente para la recepción del residuo más fino.

5. Tapa

Cada juego de tamices estará provisto de una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material y marcada con tres diámetros que formen ángulos de 60° entre sí.

6. Horno

Tendrá circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

7. Mortero

Con triturador de caucho para disgregar las partículas aglomeradas, sin reducir el tamaño de los granos individuales.

8. Herramientas y accesorios

Espátulas, brochas, recipientes para secado de muestras, recipientes para pesaje, etc.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de terreno en estado húmedo; luego reduzca por cuarteo, para obtener, cuando esté seca, una cantidad de material ligeramente superior a la estipulada en Tabla S0302_2, de acuerdo al tamaño máximo absoluto. Luego suelte el fino adherido a la grava y arena, si es necesario con agua, y deshaga los terrones con los dedos. Seque la muestra obtenida hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}$ C; si detecta la presencia de trumaos o materia orgánica, seque la muestra en el horno a $60 \pm 5^{\circ}$ C.

TABLA S0302_2. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA PARA GRANULOMETRÍA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO DEL SUELO

Tamaño Máximo Absoluto (mm)	Cantidad mínima de Muestra a extraer en Terreno (Kg.)	Cantidad mínima de Muestra para el ensaye (Kg.)
5	2	0,5
10	8	2
20	20	5
25	40	10
50	60	15
80	80	20
100	120	30
150	160	40

PROCEDIMIENTO

- **9.** Pese toda la muestra con aproximación a 1 g y registre como A.
- **10.** Corte todo el material en el tamiz correspondiente al Tamaño Máximo Absoluto especificado; determine la masa de las fracciones sobre y bajo dicho tamaño con aproximación a 1 g y regístrelas como B y Z, respectivamente.

Nota 3: Para efectos de Clasificación de Suelos se debe considerar un corte simple del material en tamiz 75 mm (3") a la curva granulométrica obtenida con el presente método.

11. Mida y registre el Tamaño Máximo Absoluto del material de la fracción B, determinada en el paso anterior.

- **12.** Corte todo el material registrado como Z en tamiz 4,75 mm (Nº 4) y determine las masas, con precisión a 1 g, de la fracción que pasó y de la que quedó retenida en dicho tamiz. Regístrelas como C y D respectivamente *(Ver Nota 4)*.
 - Nota 4: Se debe tomar la precaución de proteger el tamiz 4,75 mm (№4) con uno mayor (19 mm o ¾").
- 13. Coloque el material retenido en 5 mm (D) en un recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrir la muestra. Proceda a lavar el material siguiendo los pasos que se indican a continuación:
 - a) Agite la muestra con el agua de modo de separar el material fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
 - b) Vacíe inmediatamente el agua con el material fino (en suspensión o en disolución) en los tamices Nº 4 (4,75 mm) y Nº 200 (0,075 mm), dispuestos en forma decreciente.
 - c) Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
 - d) Reúna el material retenido en los tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
 - e) Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.
 - f) Pese y registre la masa lavada y seca como D'.
- Tamice el material registrado como D' a través de la serie de tamices 150 mm (6"), 100 mm (4"), 75 mm (3"), 50 mm (2"), 37,5 mm (1 ½"), 25 mm (1"), 19 (3/4"),9,5 mm (3/8") y 4,75 mm (№ 4). Efectúe este tamizado en dos etapas; un tamizado inicial, que podrá ser manual o mecánico, y un tamizado final que deberá ser manual.

a) Tamizado Inicial.

Vacíe el material registrado como D' sobre el tamiz superior de la serie de tamices y cúbralo con la tapa y fondo.

Agite el conjunto de tamices durante un lapso mínimo de 5 min. Aproximándose a la condición que se establece en ítem b) del punto 13.

b) Tamizado Final.

- Retire el primer tamiz provisto de depósito y tapa.
- Sosténgalo con las manos, manteniéndolo ligeramente inclinado.
- Agítelo con movimientos horizontales y verticales en forma combinada, girando el tamiz en forma intermitente. Esta operación durará al menos 1 min.
- Pese y registre el material retenido sobre el tamiz.
- Traslade el material contenido en el depósito al tamiz siguiente.
- Repita las operaciones descritas en los pasos anteriores hasta completar todos los tamices.
- Pese y registre la masa final del residuo contenido en el depósito.

15. Del material bajo 5mm, tome por cuarteo una muestra de 500 a1.000 g, y registre su masa como C'.

Lave cuidadosamente con agua potable el material sobre tamiz 0,075 mm (N $^{\circ}$ 200); vacíe a un bol el material retenido en tamiz 0,075 mm (N $^{\circ}$ 200) y seque hasta masa constante a 110 \pm 5°C.

- **16.** Pese y registre el material lavado y seco como C", aproximando a 0,1 g.
- 17. Tamice el material preparado de acuerdo a 15, según procedimiento descrito en 14 a) y b), a través de la serie de tamices: 2 mm (Nº 10), 0,425 mm (Nº 40) y 0,075 mm (Nº 200).
- **18.** Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz 0,075 mm (Nº 200), recogido en el depósito. Registre como Mi con aproximación a 0,1 g.
- **19.** La suma de todas las masas no debe diferir en más de 3% para el material bajo 5 mm, ni en más de 0,5% para el material sobre 5 mm, respecto de las masas registradas como C" y D', respectivamente. En caso contrario, repita el ensayo.

CÁLCULOS

20. Calcule el porcentaje de sobre tamaño, de acuerdo a la expresión:

$$ST = \frac{B}{A} \cdot 100(\%)$$

Donde

B: Masa de material sobre el Tamaño Máximo Absoluto especificado.

A: Masa de muestra total.

21. Calcule el porcentaje retenido en el tamiz i del material sobre 4,75 mm, de acuerdo a la expresión:

$$R_i = \frac{M_i}{C + D} \cdot 100(\%)$$

Donde:

Mi: Masa retenida en el tamiz i del material sobre 4.75 mm.

C: Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

D: Masa de la fracción sobre 4,75 mm.

22. Calcule el porcentaje retenido en el tamiz i del material bajo 4,75 mm, de acuerdo a la expresión:

$$R_I = \frac{C \times M_i}{C'(C+D)} \cdot 100(\%)$$

Donde:

C: Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

Mi: Masa retenida en el tamiz i del material bajo 4,75 mm.

C': Masa de muestra reducida por cuarteo de la fracción bajo 4,75 mm.

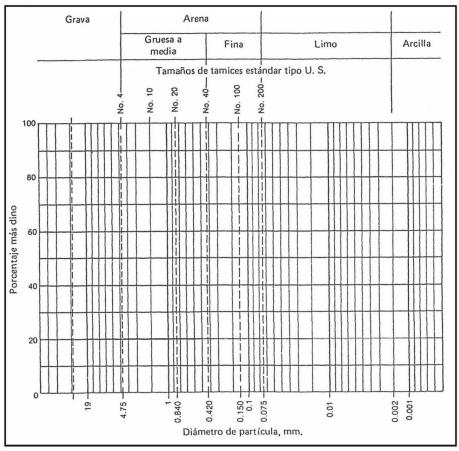
D: Masa de la fracción sobre 4,75 mm.

23. Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y expresando el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al de cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo. Aproxime los porcentajes que pasan al entero más cercano.

- 24. Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz, obtenidos de acuerdo a lo indicado en 23.
- **25.** En la **Figura \$0302_1** se incluye un formato tipo de ficha de ensaye para el registro de los resultados obtenidos.

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICO

Proyecto	Trabajo No
Localización del proyecto	Perforación No Muestra No
Descripción del suelo	
Realizado por	Fecha de la practica



Descripción visual		
Beschpolett visual		
Clasificación del quelo	Sistama	

FIGURA S0302_1 FORMULARIO TIPO, ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MECÁNICO

ANÁLISIS GRANULOMÈTRICO - MECÁNICO Proyecto_ Trabajo No.___ Perforación No.____ Muestra No.___ Localización del proyecto_____ Descripción del suelo_____ Realizado por_ Fecha de la practica____ Tamaño de la Muestra de Suelo Diámetro nominal de la Peso mínimo aproximado de muestra, g partícula mayor Tamiz de 2 mm (No. 10) 200 Tamiz de 4,75 mm (No. 4) 500 Tamiz de 19 mm (3/4") 1500

Análisis por tamizado y forma de granos

Peso de la muestra seca + recipiente

Peso de la muestra seca, W_s

Peso del recipiente

Tamaño nominal del tamiz		Peso retenido	% retenido	9/ guo paga	
(mm)	Alternativo	Feso reteriido	% reterildo	% que pasa	
-					

[%] que pasa = 100 - ∑ % retenido.

FIGURA S0302_2.FORMULARIO TIPO, DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

CAPÍTULO S0303 - ANÁLISIS GRANUMOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO (ASTMD422)

OBJETO

El análisis hidrométrico se basa en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera.

$$V = \frac{\tau \, s - \tau \, f}{1800 \, \cap} x \, D^2$$

Donde:

V = Velocidad de la esfera (cm/s)

τ s = Densidad de la esfera (g/cm3)

τ f = Densidad del fluido (g/cm3)

¬ = Vis∞sidad del fluido (g . s/cm²)

D = Diámetro de la esfera (mm).

Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (No.10). Cuando se quiere más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75 μ m (No.200).

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Tres (3) Balanzas, de precisión 0,01 g, 0,1 g y 1 g.
- **2.** Tamices, de 2,0 mm (No.10) y de 75 μm (No.200).
- 3. Tamizador mecánico.
- 4. Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (Figuras. S0303_1 y S0303_2).
- 5. Hidrómetro, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión ó los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20 °C (68°F). Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso, la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de -5 á +60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00a 20°C (68°F) y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas.
- **6.** Cilindro de vidrio para sedimentación, de unos 457mm (18") de alto, y 63.5mm (2.5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 ml a 20°C (68°F).

- 6
- 7. Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5°C (0.9°F).
- 8. Cronómetro o reloj.
- **9.** Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- 10. Estufa o plancha de calentamiento.
- 11. Utensilios de uso general

Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.

- 12. Agente Dispersante
 - Una solución de hexametafosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametafosfato de sodio por litro de solución.
- **13.** Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

14. Agua

Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo; así, si el cilindro de sedimentación se va a colocar en baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que va a utilizarse se llevará a la temperatura de dicho baño. Si el cilindro de sedimentación se coloca a la temperatura ambiente del laboratorio, el agua deberá tener dicha temperatura. La temperatura normal de ensayo es la de 20 °C (68 °F). Sin embargo, variaciones de temperatura pequeñas, no implicarán el uso de las correcciones previstas.



Equipos Requerido para el Ensayo

CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO

15. El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro. Si se dispone de un hidrómetro tipo 151-H ó 152-H la profundidad efectiva puede ser obtenida de la tabla S0303_1.

TABLA S0303_1 VALORES DE PROFUNDIDAD EFECTIVA BASADOS EN HIDRÓMETROS Y CILINDROS DE SEDIMENTACIÓN DADOS

Hidróme	etro 151H	Hidrómetro 152H				
Lectura Actual del	Profundidad efectiva,	Lectura Actual del	Profundidad efectiva,	Lectura Actual del	Profundidad efectiva,	
Hidrómetro	L, cm	Hidrómetro	L, cm	Hidrómetro	L, cm	
1,000	16,3	0	16,3	31	11,2	
1,001	16,0	1	16,1	32	11,1	
1,002	15,8	2	16,0	33	10,9	
1,003	15,5	3	15,8	34	10,7	
1,004	15,2	4	15,6	35	10,6	
1,005	15,0	5	15,5	36	10,4	
1,006	14,7	6	15,3	37	10,2	
1,007	14,4	7	15,2	38	10,1	
1,008	14,2	8	15,0	39	9,9	
1,009	13,9	9	14,8	40	9,7	
1,010	13,7	10	14,7	41	9,6	
1,011	13,4	11	14,5	42	9,4	
1,012	13,1	12	14,3	43	9,2	
1,013	12,9	13	14,2	44	9,1	
1,014	12,6	14	14,0	45	8,9	
1,015	12,3	15	13,8	46	8,8	
1,016	12,1	16	13,7	47	8,6	
1,017	11,8	17	13,5	48	8,4	
1,018	11,5	18	13,3	49	8,3	
1,019	11,3	19	13,2	50	8,1	
1,020	11,0	20	13,0	51	7,9	
1,021	10,7	21	12,9	52	7,8	
1,022	10,5	22	12,7	53	7,6	
1,023	10,2	23	12,5	54	7,4	
1,024	10,0	24	12,4	55	7,3	
1,025	9,7	25	12,2	56	7,1	
1,026	9,4	26	12,0	57	7,0	
1,027	9,2	27	11,9	58	6,8	
1,028	8,9	28	11,7	59	6,6	
1,029	8,6	29	11,5	60	6,5	
1,030	8,4	30	11,4			
1,031	8,1					
1,032	7,8			<u> </u>		
1,033	7,6					
1,034	7,3					
1,035	7,0					
1,036	6,8					
1,037	6,5					
1,038	6,2					

- **16.** Si el hidrómetro disponible es de otro tipo, procédase a su calibración de acuerdo a los pasos siguientes:
- **17.** Determínese el volumen del bulbo del hidrómetro. (VB). Este puede ser determinado utilizando uno de los métodos siguientes:
 - 1. Midiendo el volumen de agua desplazada.
 - Llénese con agua destilada o desmineralizada un cilindro graduado de 1000 ml. de capacidad hasta aproximadamente 900 ml. Obsérvese y anótese la lectura del nivel del agua. El agua debe estar aproximadamente a 20 °C. (68 °F). Introdúzcase el hidrómetro y anótese la nueva lectura.

- - La diferencia entre estas dos lecturas es igual al volumen del bulbo más la parte del vástago que está sumergida. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es tan pequeño que puede ser despreciado para efectos prácticos.
 - **2.** Determinación del volumen a partir del peso del hidrómetro.
 - Pésese el hidrómetro con una aproximación de 0,01 g. Debido a que el peso específico del hidrómetro es aproximadamente igual a la unidad, el peso del hidrómetro en gramos, es equivalente a su volumen en centímetros cúbicos. Este volumen incluye, el volumen del bulbo y del vástago. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es despreciable.
- 18. Determínese el área "A" del cilindro graduado midiendo la distancia que existe entre dos marcas de graduación. El área "A" es igual al volumen incluido entre las dos graduaciones dividido entre la distancia medida.
- 19. Mídase y anótese la distancia desde la marca de calibración inferior en el vástago del hidrómetro hasta cada una de las marcas de calibración principales (R).
- 20. Mídase y anótese la distancia desde el cuello del bulbo hasta la marca de calibración inferior. La distancia "H" correspondiente a cada lectura "R", es igual a la suma de las dos distancias medidas en los anteriores.
- 21. Mídase la distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo. La distancia h/2 localiza el centro del volumen de un bulbo simétrico. Si el bulbo utilizado no es simétrico, el centro del volumen se puede determinar con suficiente aproximación proyectando la forma del bulbo sobre una hoja de papel y localizando el centro de gravedad del área proyectada.
- 22. Determínense las profundidades efectivas "L", correspondientes a cada una de las marcas de calibración principales "R" empleando la fórmula:

$$L = H_R + \frac{1}{2} \cdot (h - V_B / A)$$

Siendo:

Profundidades efectivas

Distancias correspondientes a las lecturas R.

Distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo.

Volumen del bulbo

Área del cilindro graduado.

23. Constrúyase una curva que exprese la relación entre "R" y "L". Esta relación es esencialmente una línea recta para los hidrómetros simétricos.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

24. El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a100 g y para limos y arcillas de 50 a60 g (Peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.

25. El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Ws = \frac{Peso \ del \ suelo \ humedo}{1 + \frac{humedo \ (w)}{100}}$$

Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento consistirá en los siguientes pasos:

- **26.** Anótese en el formato toda la información existente para identificar la muestra, como por ejemplo: obra, número de la muestra y otros datos pertinentes.
- **27.** Determínese la corrección por defloculante y punto cero, Cd. y la corrección por menisco, cm., a menos que ya sean conocidas (ver apartado "Corrección de las lecturas del Hidrómetro").
- **28.** Anótese toda esta información en el formato.
- 29. Determínese el peso específico de los sólidos, Gs.
- 30. Si el peso secado al horno se va a obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y pésese con una aproximación de 0,1 g. Anótese en el formato el valor obtenido. Colóquese la muestra en una cápsula de 250 ml previamente identificada con un número, agréguese agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 ml de solución de hexametafosfato de sodio (40g/I).

Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial, y puede ser necesario oxidar la materia orgánica antes del ensayo. La oxidación puede ser llevada a cabo mezclando la muestra con una solución, al 30 %, de peróxido de hidrógeno; esta solución oxidará toda la materia orgánica.

Si el suelo contiene poca cantidad de materia orgánica, el tratamiento con peróxido de hidrógeno no es necesario.

31. Transfiérase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión (Figuras. S0303_1 y S0303_2), lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada.

Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de ésta quede de 50 a80 mm por debajo de la boca del vaso; si el vaso contiene demasiada agua, ésta se derramará durante el mezclado. Colóquese el vaso de dispersión en el aparato agitador durante el tiempo de un minuto.







Colocación del Vaso en el Agitador Eléctrico

Para lograr la dispersión se puede emplear también aire a presión en lugar del método mecánico del agitador. En este caso, se coloca un manómetro entre el vaso y la válvula de control, la cual se abre inicialmente para obtener una presión de 0,07 kg/cm² (1 psi). Se transfiere la lechada de suelo-agua de la cazuela al vaso de dispersión, lavando con agua destilada el remanente de la cazuela, y rellenando si es necesario, con más agua destilada hasta el volumen de 250 ml. Se tapa el vaso y se abre la válvula de control hasta obtener una presión de 1,4 kg/cm² (20 psi). La dispersión se hará de acuerdo con la siguiente **Tabla S0303_2:**

TABLA S0303_2. / PERIODO DE DISPERSIÓN MÍNIMO

Índice de Plasticidad del Suelo	Periodo de dispersión min.
Menor del 5%	5
Del 6% a 20%	10
Mayor del 20%	15

Los suelos que contienen altos porcentajes de mica se dispersarán durante un (1) minuto.

32. Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.



Suspensión Dispersada



Volumen Total de la Suspensión Dispersada

33. Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Continúese agitando hasta completar un minuto volteando el cilindro hacia arriba y hacia abajo alternativamente.

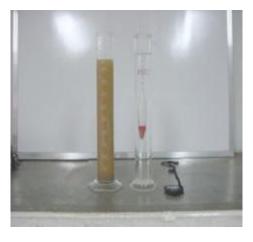
Algunas veces, es necesario aflojar los sedimentos del fondo del cilindro, mediante un agitador de vidrio antes de proceder a agitar la lechada. Se deben ejecutar sesenta (60) giros durante ese minuto.

Alternativamente, la suspensión puede ser agitada antes de proceder al ensayo mediante un agitador manual, semejante al que se muestra en el esquema de la Figura S0303_3. Moviendo dicho agitador hacia arriba y hacia abajo, a través de la suspensión, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo. Este proceso evita también la acumulación de sedimentos en la base y en las paredes del cilindro graduado.

- **34.** Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa. Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.
- **35.** Obsérvense y anótense las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas.



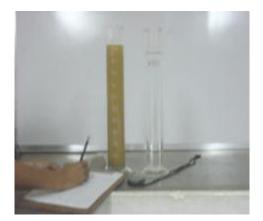
Inmersión del Hidrómetro en la Sedimentación

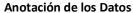


Hidrómetro sumergido en Agua Destilada

Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los: 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extráigase el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y colóquese en el cilindro graduado con agua limpia.

- **36.** Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la planilla con una aproximación de 0.5 °C (0.9 °F). Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.
- **37.** Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.







Secado de la Muestra en el Horno

CORRECCIÓN DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO

38. Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.

Corrección por Menisco (cm.)

Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. Valores corrientes de cm. son:

Hidrómetro tipo 151 H: cm. = $0.6 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ Hidrómetro tipo 152 H: cm. = 1.0 g/litro.

Corrección por Temperatura (Ct)

A cada una de las lecturas de hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección por temperatura, el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Obténgase el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la tabla S0303_3 y anótense estos valores en su planilla.

Corrección por Agente de Dispersión y por Desplazamiento del Punto Cero (Cd)

Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que tienden a precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. Los agentes defloculantes siguientes han sido utilizados satisfactoriamente para la mayoría de los suelos:

TABLA S0303_3. AGENTES DEFLOCULANTES

Agente Defloculante	Fórmula
Hexametafosfato de sodio amortiguado con Carbonato de sodio	NaPO₃ o (NaPO₃) ₆
(Calgón)	
Polifosfato de sodio	Na ₁₂ P ₁₀ O ₃₁
Tripoli fosfato de sodio	Na ₅ P ₃ O ₁₀
Tetrafosfato de sodio	Na ₆ P ₄ O ₁₃

- La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20°C (68°F), existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.
- La corrección por defloculante se determina generalmente en conjunto con la corrección por punto cero; por ello se les denomina "corrección por defloculante y punto cero".
- El procedimiento para determinar la corrección por defloculante y punto cero consistirá en los pasos siguientes:

Se selecciona un cilindro graduado de 1000 ml. de capacidad y se llena con agua destilada o desmineralizada con una cantidad de defloculante igual a la que se empleará en el ensayo. Si en el ensayo no se va a utilizar defloculante, llénese el cilindro sólo con agua destilada o desmineralizada. En este caso, la corrección será solamente por punto cero.

Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introdúzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (Cd) mediante la fórmula:

$$-Cd = \tau^{-1} + Cm + Ct$$

Donde:

 τ' = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente cm.= Corrección por menisco

Ct = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

CÁLCULOS

Lectura de Hidrómetro corregida

Calcúlense las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco Cm. o sea:

$$R = R' + Cm$$

Anótense en la planilla los valores de R obtenidos.

43. Cálculo del diámetro de las partículas (D)

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se calcula con la fórmula siguiente:

$$D(mm)=K(L/t)$$

Donde:

L = Profundidad efectiva en cm

t = Tiempo transcurrido en min.

у

$$K = \frac{30 \ x \ \mu / g}{t_s - tw}$$

Donde:

g =Aceleración gravitacional = 980.7 cm/s2

μ =Coeficiente de viscosidad del agua en Poises

τs =Peso unitario de los sólidos del suelo en g/cm³.

τw = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en g/cm³.

Los valores de K están tabulados en la tabla S0303_4, en función del peso específico y la temperatura.

TABLA S0303_4 VALORES DE K A SER USADOS EN EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS

Temperatura °C	Peso específico de las partículas de suelo								
	2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85
16	0,0151	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
17	0,01511	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
19	0,01474	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,1323	0,01305
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218	0,01201
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01255	0,01208	0,01191	0,01175
29	0,01312	0,0129	0,01269	0,01249	0,0123	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149

Para hidrómetros 152 H

Porcentaje mas fino =
$$\frac{100 \, x \, a}{W_O} \, X \left(R - Cd \pm Ct \right)$$

Donde:

Gs =Peso específico de los sólidos

Wo =Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro. (R - Cd \pm Ct) = Lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero, más (sumada algebraicamente) corrección por temperatura.

a = Factor de corrección por peso específico (ver tabla S0303_5).

TABLA S0303_5 VALORES DEL FACTOR "a", DE CORRECCIÓN PARA DIFERENTES PESO ESPECÍFICO DE PARTÍCULAS DE SUELO

Peso específico	Factor de corrección
2,95	0,94
2,9	0,95
2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,03
2,45	1,05

Anótense todos los valores obtenidos en su planilla. El factor Ct puede ser positivo o negativo dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar la lectura. Úsese la fórmula (R - $Cd \pm Ct$) dependiendo si Ct es positivo o negativo.

OBSERVACIONES

Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por hidrómetro.

- Suelo secado al horno antes del ensayo.- Excepto para el caso de suelos inorgánicos de resistencia seca baja, el secado al horno puede causar cambios permanentes en el tamaño de las partículas.
- Agente dispersante no satisfactorio o en cantidad insuficiente.- Siempre y cuando se vayan a ensayar suelos nuevos o no usuales, es necesario realizar tanteos para determinar el tipo y la cantidad de compuesto químico que producirá la dispersión y defloculación más efectivas.
- Dispersión incompleta del suelo en la suspensión.- Agitación insuficiente de la suspensión en el cilindro al comienzo del ensayo.
- Demasiado suelo en suspensión.- Los resultados del análisis hidrométrico serán afectados si el tamaño de la muestra excede las cantidades recomendadas.
- Perturbación de la suspensión cuando se introduce o se remueve el hidrómetro.- Tal perturbación es muy corriente que ocurra cuando el hidrómetro se extrae rápido después de una lectura.
- El hidrómetro no está suficientemente limpio.- La presencia de polvo o grasa en el vástago del hidrómetro puede impedir el desarrollo de un menisco uniforme.
- Calentamiento no uniforme de la suspensión.- Variación excesiva de la temperatura de la suspensión durante el ensayo.
- Pérdida de material después del ensayo.- Si el peso del suelo secado al horno se obtiene después del ensayo, toda la suspensión debe ser lavada cuidadosamente del cilindro.

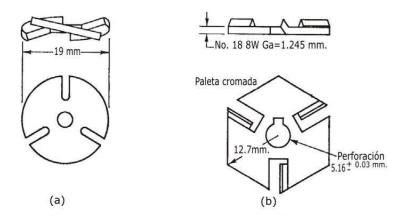


FIGURA \$0303_1 DETALLE DEL APARATO AGITADOR

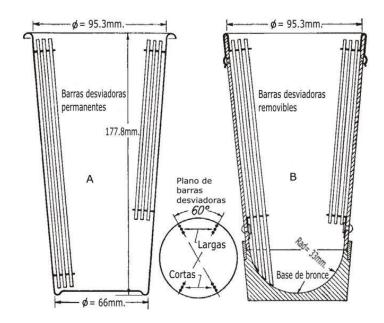


FIGURA S0303_2DETALLE VASO DEL APARATO AGITADOR

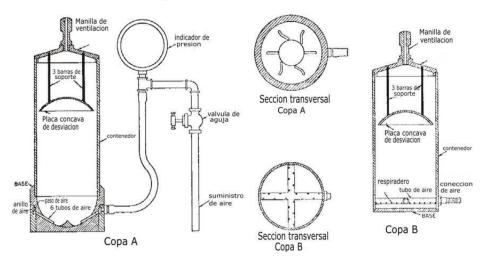


FIGURA S0303_3 DETALLE DEL APARATO AGITADOR DE INYECCIÓN DE AIRE

CAPÍTULO S0304 - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D4318 AASHTO T89)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande.

DEFINICIÓN

El límite Líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Plato de Evaporación

Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de aproximadamente 120 mm.

2. Espátula

Debe contar con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

3. Aparato de Límite Líquido (Máquina Casagrande)

Taza de bronce con una masa de 200 ± 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90%, (Figura 50304_1).

4. Acanalador

Combinación de acanalador y calibre, construido de acuerdo con el plano y dimensiones de la figura de la Figura S0304_2.

5. Cápsulas para Secado

Debe ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

6. Balanza

La balanza debe tener una precisión de 0,01 g.

7. Probeta Graduada

La probeta debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

8. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantener la temperatura a 60 ± 5 °C.

Nota 1: No se debe ocupar la superficie inferior del horno para el secado de muestras, pues ésta se encuentra siempre a una temperatura superior a la fijada.

Nota 2: Se recomienda para una mayor velocidad de secado el uso de hornos con convección forzada.





Equipos Requeridos para el Ensayo

AJUSTE Y CONTROL DEL APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO

9. Ajuste de la Altura de Caída de la Taza

Gire la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adosado al ranurador), verifique que la distancia entre el punto de percusión y la base sea exactamente de 10 mm. De ser necesario, afloje los tornillos de fijación y mueva el de ajuste hasta obtener la altura de caída requerida.

Si el ajuste es correcto, se escuchará un ligero campanilleo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido, realice un nuevo ajuste.

10. Verificaciones Adicionales

- a) No debe producirse juego lateral por desgaste entre la taza y el pasador que la sostiene.
- b) Los tornillos que conectan la taza con el apoyo deben estar apretados.
- c) El desgaste de la taza no debe sobrepasar la tolerancia de masa especificada en 3.
- d) El diámetro de la huella del punto de percusión en la base no debe exceder 15 mm. Cuando esto ocurra, pula la base, verificando que se mantiene la resiliencia especificada en 3.
- El desgaste del ranurador no debe sobrepasar las tolerancias dimensionales e) especificadas en la Figura S0304_2.
- **11.** Antes de cada ensaye verifique que la base y la taza estén limpias y secas.



Aparato Casagrande Acondicionado

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

12. Extraiga por cuarteo una muestra representativa de un tamaño tal que asegure una masa mínima de ensaye de 500 g de material bajo tamiz 0,425 mm (N° 40).



Material pasante por el Tamiz Nº 40

- **13.** Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
- **14.** Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.
- 15. Distribuya de la siguiente forma la masa mínima de ensaye obtenida en 12.
 - -Límite Líquido 160 g.
 - -Límite Plástico 40 g.
 - -Límite de Contracción 100 g.
 - -Ensayes de control 200 g.

ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

16. Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

17. Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, para lo cual existe la siguiente clasificación:

> -Suelos de alta plasticidad: ≥ 24 h -Suelos de plasticidad media: ≥ 12 h -Suelos de baja plasticidad:



Mesclado de material con Agua



Muestra Pastosa y Homogénea

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- **18.** Coloque el aparato de límite líquido sobre una base firme.
- 19. Coloque en la taza una porción de la muestra acondicionada utilizando una espátula; la masa de suelo deberá colocarse centrándola en el punto de apoyo de la taza con la base.
- 20. Moldee la masa de suelo con la espátula hasta obtener la forma indicada en la figura de la Lámina 8.102.3 B, evitando incorporar burbujas de aire en la mezcla.
- **21.** Enrase y nivele a 10mm en el punto de máximo espesor.
- 22. Reincorpore el material excedente al plato de evaporación.
- 23. Divida la pasta de suelo, pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza, de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas. Pase el acanalador, manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza; en ningún caso, debe existir desprendimiento de la pasta del fondo de la taza; si ello ocurre, retire todo el material y reinicie el procedimiento. La formación de la ranura se debe lograr con el mínimo de pasadas, limpiando el acanalador después de cada pasada.



Material colocado uniformemente



Ranuración de la Muestra

24. Gire la manivela levantando y dejando caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm.; si el cierre de la ranura es irregular, descarte el resultado. Registre el número de golpes obtenido (N).



Conteo de Golpes

25. Retire aproximadamente 10 g del material que se junta en el fondo del surco; colóquelo en una cápsula de secado y determine su humedad (w), de acuerdo con el *Método S0301*.



Corte y Retiro del Material



Secado de Muestra

- **26.** ransfiera el material que quedó en la taza al plato de evaporación; lave y seque la taza y el ranurador.
- **27.** Continúe batiendo con la espátula la pasta de suelo que quedó en el plato de evaporación para obtener un secado homogéneo. Repita las operaciones precedentes desde 20 en adelante, para dar origen a un nuevo punto.
 - Nota 3: El ensaye se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca; en ningún caso, se debe rehumedecer la pasta de suelo.
- 28. El ensaye requiere de al menos cinco puntos para el trazado de la curva de fluidez.
 - Nota 4: Se recomienda que los puntos seleccionados se encuentren en el rango de 10 a 45 golpes.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

CÁLCULOS

- **29.** Calcule y registre la humedad de cada determinación (w), de acuerdo con el método definido anteriormente para determinar el contenido de humedad.
- **30.** Construya un gráfico semilogarítmico, con la humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.
- **31.** Dibuje los puntos correspondientes a los resultados de cada una de las cinco (o más) determinaciones efectuadas y construya una recta (curva de fluidez) que pase tan aproximadamente como sea posible por los puntos.
- **32.** Exprese el Límite Líquido (LL) del suelo como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes, aproximando a un decimal.

Para los casos que se requiera la determinación del límite líquido de los suelos fundamentalmente plásticos, existen varios métodos, el primero que es mediante la determinación del conteni do de humedad de un punto, y mediante la aplicación de la ecuación:

$$W_L = \left[\frac{N}{25}\right]^{0,121} \cdot w$$

donde N: número de golpes y w es contenido de humedad.

Para los casos que se tengan cinco puntos (lo mínimo que se debe exigir son 3), deberán considerarse dos puntos que contengan la suficiente humedad para que el número de golpes sea menor a 25, y los otros dos puntos con contenidos de humedad de manera de obtener un número de golpes mayor a los 25.

Nota 5: Más adelante se incluye un formato tipo de ficha de ensaye de Límites de Atterberg, en el cual se registrarán los resultados obtenidos en las determinaciones de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad

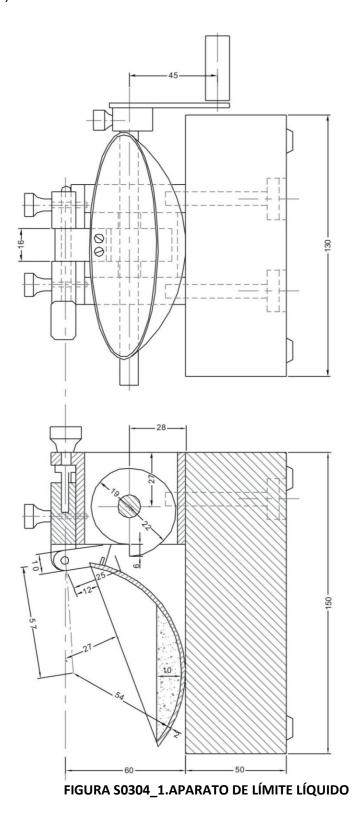
Tabla factor "K" para el cálculo del límite líquido (LL)

N° DE	FACTOR K
GOLPES	PARA LL
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.055
LL	.□?*K

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Valor del Límite Líquido.
- b) Cualquier información específica relativa al ensaye o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.



Nota: Diseño desarrollado en la Universidad de Harvard por Casagrande.

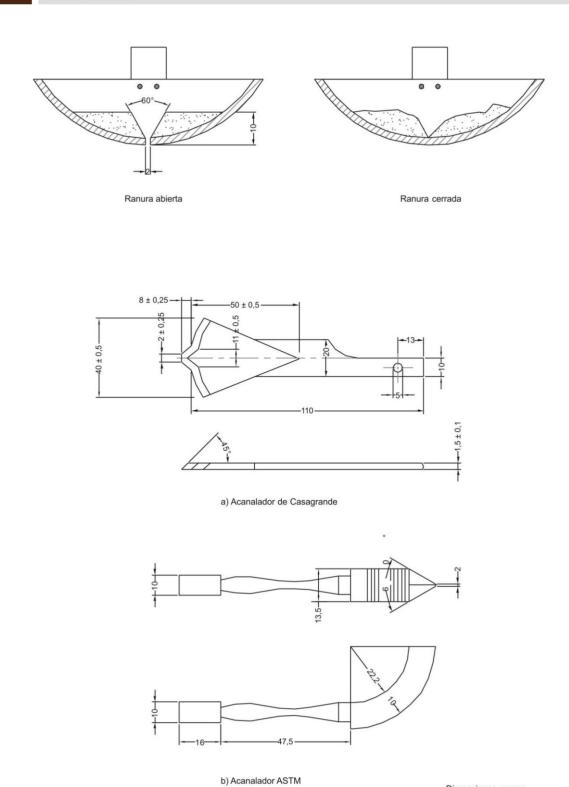


FIGURA S0304_2 SECCIÓN DE LA RANURA EN LA PASTA DE SUELO ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYE ACANALADORES

Dimensiones en mm.

CAPÍTULO S0305 - DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D4318 AASHTO T90)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el Límite Plástico y el Índice de Plasticidad de los suelos.

DEFINICIÓN

1. Límite Plástico

Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5a 1cm. de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

EQUIPOS Y MATERIALES

2. Plato de evaporación

Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de 120 mm aproximadamente.

3. Espátula

Debe tener una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

4. Superficie de amasado

Placa de vidrio esmerilado de 20 x 20 cm.

5. Cápsulas para secado

Deben ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

6. Balanza

Debe tener una precisión de 0,01 g.

7. Probeta graduada

Debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

8. Patrón de comparación

Alambre o plástico de 3 mm de diámetro.

9. Horno

Debe tener circulación de aire y temperatura regulable, capaz de mantener una temperatura de 60 ± 5 °C.



Equipos requeridos para el Ensayo de Límite Plástico y Límite Líquido

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

10. Preparación de la Muestra

Extraiga, por cuarteo, una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensaye de 500g de material bajo tamiz 0,425mm (Nº 40).



Material pasante por el Tamiz Nº 40

- 11. Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
- 12. Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60ºC.
- **13.** La masa mínima de ensaye, obtenida en 10 debe distribuirse como sigue:

-Límite Líquido 60g -Límite Plásti∞ 40g -Límite de Contracción 100g -Ensayes de Control 200g

Acondicionamiento de la Muestra

- **14.** Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.
- **15.** Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, existiendo la siguiente clasificación:

-Suelos de alta plasticidad: ≥ 24 h -Suelos de plasticidad media: ≥ 12 h -Suelos de baja plasticidad: ≥ 1 h

16. Una vez curado el material, reduzca la humedad si es necesario mediante revoltura con la espátula, hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.



Mesclado del Material con Agua



Muestra Plástica para Moldeo

PROCEDIMIENTO

- 17. Tome una porción de la muestra de ensaye acondicionada de aproximadamente 1 cm3.
- **18.** Amase la muestra entre las manos; luego hágala rodar sobre la superficie de amasado, ejerciendo una leve presión con la palma de la mano hasta conformar un cilindro.
- **19.** Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente 3 mm, doble, amase nuevamente y vuelva a conformar el cilindro.



Amasado de la Muestra

20. Repita la operación, manteniendo la velocidad y la presión de amasado, hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente 3 mm, en trozos del orden de 0,5 a1 cm de largo y no pueda ser reamasado ni reconstituido.

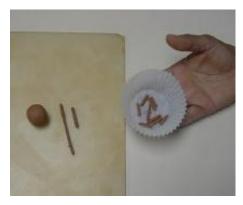


Elaboración de Hebras del material



Hebra del Material resquebrajada

21. Reúna las fracciones del cilindro disgregado y colóquelas en una cápsula de secado, previamente tarada. Determine y registre la humedad (w) de acuerdo con el *Método S0301*, aproximando a un decimal.



Muestra en Estado de Límite Plástico



Tarado de la Muestra

22. Repita las anteriores etapas con dos porciones más de la muestra de ensaye.



Muestra extraída del Horno conforme al Procedimiento S0301

CÁLCULOS

- **23.** Calcule el Límite Plástico (LP) como el promedio de las tres determinaciones efectuadas sobre la muestra de ensaye, aproximando a un decimal. Las determinaciones no deben diferir entre sí en más de dos puntos; cuando no se cumpla esta condición, repita todo el ensaye.
- 24. Calcule el Índice de Plasticidad (IP) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: Índice de Plasticidad del suelo (%).

Límite Líquido del suelo (%).Límite Plástico del suelo (%).

25. Cuando no pueda determinar uno de los dos límites (LL o LP), o la diferencia resulte negativa, informe el Índice de Plasticidad como NP (no plástico).

26. Calcule el Índice Líquido (IL) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IL = \frac{W - LI}{LP}$$

Donde:

IL: Índice Líquido del suelo.

w: Humedad natural del suelo (%).
 LP: Límite Plástico del suelo (%).
 IP: Índice de Plasticidad del suelo (%).

27. Calcule el Índice de Consistencia (IC) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$LC = \frac{LL - W}{IP}$$

Donde:

IC: Índice de Consistencia del suelo.

LL: Límite Líquido del suelo (%).

w: Humedad natural del suelo (%).

IP: Índice de Plasticidad del suelo (%).

PRECISIÓN

Repetibilidad

Dos resultados obtenidos por un mismo operador sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, usando los mismos aparatos y en días diferentes, se deben considerar dudosos si difieren en más de un 10% del promedio de ambos.

Reproducibilidad

Dos resultados obtenidos por operadores diferentes, en laboratorios diferentes, se considerarán dudosos si difieren en más de 18% de su promedio.

REGISTRO DE RESULTADOS

En la Figura S0305_1 se presenta un formato tipo de ficha de ensaye para registrar los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Fecha y lugar de muestreo.
- d) Fecha de ensaye.
- e) Valores del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.
- f) Cualquier información adicional respecto al ensaye o al suelo en estudio.
- g) La referencia a este método.

		CEF	RTIFICADO	O DE EN	SAYE Nº					
lde	entificación del contra	ato:								
	ntificación del la mue									
	licata / Sondaje:		Hori	zonte:		Fe	cha muest	treo:		
	•			,						
			LIM	IITE PLAS	STICO		LII	MITE LIQU	IDO	
L	ENSAYE N°		1	2	3	1	2	3	4	5
L	CÁPSULA Nº									
\perp	NÚMERO DE GOL									
1		+ SUELO HUM. (g)								
2		+ SUELO SECO (g)	-							
3		100								
4	 									-
5		Processing and the second seco								-
7			+							
	PROMEDIO LIMIT	TE PLASTICO (%)								
	PORCENTAJE DE HUMEDAD	5	10		15 NUMERO		25 30 EES	35 40	45 50	
Líi	mite Líquido (LL) %	Límite Pl	ástico (LP)	%	Inc	dice de Pla	asticidad (IP = LL - LF	9)%	
Mu	estrado por :									
	sayador :									
Ens										
	cha :									

FIGURA S0305_1 FORMATO TIPO FICHA DE ENSAYO, DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

CAPÍTULO S0306 - DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS (ASTM D427 AASHTO T92)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el límite de contracción de los suelos. El límite de Contracción es la humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa disminución de volumen.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Plato de evaporación
 - Debe ser de porcelana, de aproximadamente 140 mm de diámetro.
- **2.** Espátula o cuchillo con hoja flexible, de aproximadamente 75 mm de largo por 20 mm de ancho.
- 3. Molde

Debe ser cilíndrico, metálico o de porcelana, con el fondo plano y de aproximadamente 45mm de diámetro y 13mm de altura.

- 4. Regla de enrase
 - Debe ser de acero, de aproximadamente 150 mm de largo.
- **5.** Taza de vidrio

Debe tener aproximadamente 60 mm de diámetro y 30 mm de altura, con su borde superior pulido y esencialmente paralelo a la base.

- 6. Placa de vidrio
 - Placa con tres puntas para sumergir la muestra en el mercurio (Ver Figura S0306_1).
- 7. Probeta
 - Debe tener una capacidad de 25 ml y graduada a 0,2 ml.
- 8. Balanza con una precisión de 0,01 g.
- 9. Mercurio
 - El suficiente para llenar la taza de vidrio.
- 10. Horno
 - El horno debe ajustarse a los requerimientos señalados en el *Método S0301*.



quipo y Material requerido para el Ensayo

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

El Mercurio es una sustancia peligrosa que puede causar enfermedad y muerte. Inhalar vapores de Mercurio es un riesgo para la salida.

El Mercurio también puede ser absorbido a través de la piel. El efecto es acumulativo.

Además de otras precauciones, se debe almacenar el Mercurio en envases irrompibles, sellados para controlar la evaporación, trabajar en área ventilada y evitar el contacto con la piel. Se debe usar guante de goma todo el tiempo.

Minimizar los derrames incontrolados realizando los procedimientos dentro de un gran envase que funcione como aparador.

Limpiar inmediatamente los derrames, usando un procedimiento recomendado explícitamente para Mercurio.

Disponer los desechos contaminados, incluyendo la pastilla de suelo secado de alguna manera aceptable desde el punto de vista ambiental y de seguridad.

CALIBRACIÓN DEL MOLDE

- 11. Pese y registre la masa del molde vacío (mm) aproximando a 0,01 g.
- **12.** Determine la capacidad del molde en cm. (ml), llenándolo con mercurio, enrasando con una placa de vidrio y midiendo el volumen de mercurio que llena el molde por pesada y dividiendo por la densidad del mercurio (densidad del mercurio = 13,55 g /cm³). Registre la capacidad como volumen de la pastilla de suelo húmedo (Vh) aproximando a 0,01 ml.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Tamaño de la Muestra

La muestra por ensayar debe tener un tamaño en masa de aproximadamente 30 g.

- **13.** Si sólo requiere determinar el límite de contracción, tome la muestra de ensaye del material completamente homogeneizado que pasa por el tamiz de 0,425 mm (№ 40).
- **14.** Coloque la muestra en el plato de evaporación y mezcle completamente con agua destilada en una cantidad suficiente para llenar completamente los huecos del suelo y dejarlo suficientemente pastoso para colocarlo en el molde sin inclusión de burbujas de aire.



Mezclado de la Muestra

Nota 1: La humedad necesaria para alcanzar la consistencia requerida en suelos desmenuzables es igual o ligeramente superior a wL y en suelos plásticos puede exceder a wL hasta en un 10%.

- **15.** Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquidas y sólidas se mezclen homogéneamente.
 - **Nota 2**: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de baja plasticidad, este plazo puede ser mucho menor y en algunos casos puede eliminarse.
- **16.** Si requiere determinar, además, el límite líquido, tome la muestra de ensaye de la porción de suelo acondicionada según el Método para Determinar el Límite Líquido.

PROCEDIMIENTO

- **17.** Recubra el interior del molde con una capa delgada de lubricante (por ejemplo, vaselina o aceite de silicón), para prevenir la adherencia del suelo al molde.
- **18.** Coloque una porción de suelo húmedo de aproximadamente un tercio de la capacidad del molde en el centro de éste y extiéndalo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme recubierta con papel secante o similar.





Cubrimiento del Envase con Vaselina

Adición de la Muestra de Suelo en el Envase con Vaselina

19. Agregue una porción similar a la primera y golpee el molde hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire atrapado suba a la superficie.



Golpeo del envase con la Muestra

- **20.** Agregue material y compacte hasta que el molde esté completamente lleno y con exceso de suelo por sobre el borde.
- 21. Enrase con la regla y limpie posibles restos de suelo adherido al exterior del molde.





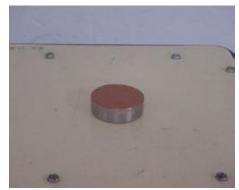


Enrasado del Recipiente

- **22.** Inmediatamente después de enrasado, pese el molde con el suelo compactado; reste la masa del molde determinando la masa de suelo húmedo (mh). Registre aproximando a 0,01 g.
- **23.** Deje secar lentamente al aire hasta que la pastilla de suelo moldeado se despegue de las paredes del molde o hasta que cambie de color oscuro a claro.
 - **Nota 3**: Se recomienda efectuar el ensaye, hasta el inicio del secado, en cámara húmeda. Si no se cuenta con este dispositivo, tome todas las precauciones necesarias para reducir la evaporación.



Peso de la Muestra



Secado de la Muestra a Temperaturambiente

24. Seque en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante.

Nota 4: El secado en horno a 110 \pm 5°C, no entrega resultados fiables en suelos que contienen yeso u otros minerales que pierden fácilmente el agua de hidratación o en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En estos casos es recomendable el secado en horno a aproximadamente 60° C.



Muestra colocada en el Horno



Muestra extraída del Horno

25. Pese el molde con el suelo seco y reste la masa del molde, determinando la masa de suelo seco (ms). Registre aproximando a 0,01 g.



Peso del Suelo Seco

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA

- **26.** Determine el volumen de la pastilla de suelo seco como se indica (Ver Figura S0306_1):
 - a. Llene la taza con mercurio hasta que desborde; enrase presionando con la placa de vidrio y limpie los restos de mercurio adheridos al exterior de la taza.



Llenado del Envase con Mercurio



Muestra Enrasada con Mercurio

- b. Coloque la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, coloque el trozo de suelo sobre la superficie del mercurio y sumérjalo cuidadosamente mediante las puntas de la placa de vidrio hasta que ésta tope firmemente contra el borde de la taza (es esencial que no quede aire atrapado bajo el trozo de suelo ni bajo la placa de vidrio).
- c. Mida el volumen de mercurio desplazado por el trozo de suelo por pesada y divídalo por la densidad del mercurio (= 13,55 g/cm³); registre como volumen del trozo de suelo seco (Vs), aproximando a 0,01 cm³, (0,01 ml).



Masa de Suelo introducida en la Probeta con Mercurio

CÁLCULOS

27. Calcule la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%:

$$W = \frac{mh - ms}{ms} \cdot 100$$

Donde:

w: Humedad del suelo en el momento que fue moldeado (%).

Mh: Masa del suelo húmedo (g).
ms: Masa del suelo seco (g).

28. Calcule el límite de contracción de 1 suelo de acuerdo con la fórmula siguiente aproximado al 1 %:

$$W_{S} = W - \left\{ \frac{(Vh - Vs) \times pw}{ms} \right\} \cdot 100$$

Donde:

W_s: Límite de contracción, %.

W: Humedad del suelo en el momento que fue moldeado, %.

Vh: Volumen de la pastilla de suelo húmedo, cm³ (ml).
 Vs: Volumen de la pastilla de suelo seco, cm³ (ml).

pw: Densidad del agua, g/cm3 (g/ml).

ms: Masa del suelo seco, (g).

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) El valor del límite de contracción.
- b) Cualquier información específica relativa al ensaye o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.

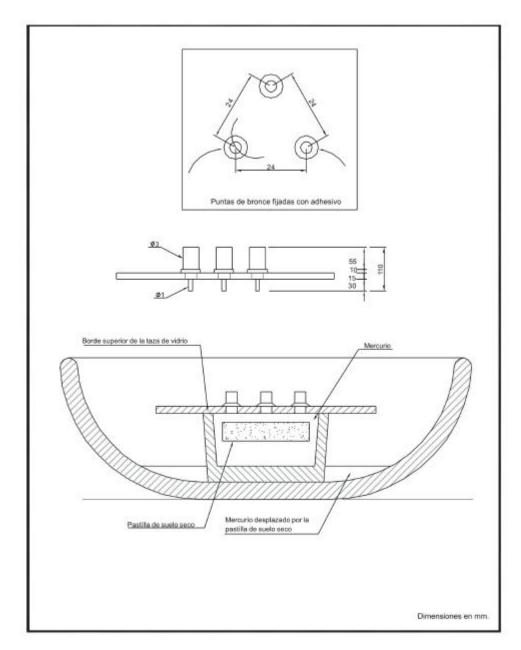


FIGURA \$0306_1 PLACA DE VIDRIO Y DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SUELO SECO

CAPÍTULO S0307 - DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS SUELOS (ASTM D854 AASHTO T100)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.

Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5 mm se debe aplicar el método de determinación de densidad neta de los gruesos, según Método para Determinar la Densidad Real, La Densidad Neta y La Absorción de Agua en áridos Gruesos *(A0519)*.

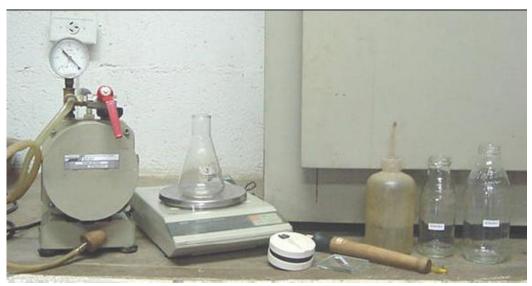
Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5 mm, separe en el tamiz de 4,75 mm (N° 4), determine y registre el porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensáyelas por separado con el método correspondiente. El resultado es el promedio ponderado de ambas fracciones.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Picnómetro, frasco volumétrico con una capacidad igual o mayor que 100 ml o botella con tapón con una capacidad igual o mayor que 50ml; el tapón debe ser del mismo material que la botella, de forma y tamaño adecuados para insertarse fácilmente a una profundidad marcada en el cuello de la botella y tener una perforación central que permita la eliminación de aire y agua sobrante.

Nota 1: El uso del frasco o la botella es optativo pero, en general, debe usarse el frasco para suelos cuyo tamaño máximo de partículas requiera muestras mayores.

- **2.** Balanza, con resolución de 0,01 g, si se emplea el frasco o con resolución de 0,001 g, si se emplea la botella.
- 3. Reductor de Presión, aspirador o bomba de vacío y sus accesorios.
- **4.** Herramientas y Accesorios, recipientes para las muestras, brochas, poruña, embudo, termómetro, horno, secador, etc.
- **5.** Materiales, Agua destilada o desmineralizada desaireada, kerosene, solución disolvente de grasas, etc.



Equipos y Materiales requeridos

CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

6. Limpie, seque, pese y registre la masa del picnómetro vacío (Mf).



Pesada del Envase

Nota 2: Por ejemplo, la limpieza del picnómetro se puede efectuar con amoníaco o algún disolvente de grasa; seguidamente se enjuaga con agua destilada y se deja escurrir colocándolo boca abajo. Posteriormente se lava con alcohol, dejándolo escurrir; finalmente se lava con éter, eliminando así los vapores al dejar el picnómetro boca abajo durante 15 min.

- 7. Llene con agua destilada a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración. Seque el interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Pese y registre la masa del picnómetro más el agua (Ma).
- **8.** Inserte un termómetro en el agua hasta el centro del picnómetro. Determine y registre la temperatura de calibración (ti) aproximando a 1°C.

Nota 3: El kerosene, es mejor agente humedecedor que el agua para la mayoría de los suelos y puede usarse en lugar del agua destilada en muestras secadas al horno.

- **9.** De la masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración (Mati) se debe preparar una tabla de valores de la masa del picnómetro más el agua (Ma) para la serie de temperaturas que probablemente prevalezcan durante el ensaye.
- 10. Calcule los valores de Ma a distintas temperaturas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$Ma_{tx} = \frac{pw_{tx}}{pw_{ti}} \cdot (Ma_{ti} - Mf) + Mf$$

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

Donde:

Max: Masa del picnómetro más el agua a una temperatura x dada (g).

ρwtx: Densidad del agua a una temperatura x dada (g/cm³ o Kg./l)

ρw_i: Densidad del agua a la temperatura de calibración (g/cm³ ó Kg./l) (ver Tabla S0307_1).

Ma_t: Masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración (g).

Mf: Masa del picnómetro vacío (g).

Nota 4: Este procedimiento es muy conveniente para laboratorios que hacen muchas determinaciones con el mismo picnómetro; también es aplicable a una sola determinación. Llevar el picnómetro y su contenido a una temperatura determinada, requiere un tiempo considerable, por lo que resulta mucho más conveniente trabajar con la tabla de valores Ma. Es importante que los valores del picnómetro más el agua, como Ma y Mm (definido en 10), se basen en agua a la misma temperatura.

TABLA S0307_1 DENSIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Temperatura ((°C)	Densidad* (g/cm³) (Kg./I)	K (adimensional)
16	0,99909	1,0009
18	0,99859	1,0004
20	0,99820	1,0000
23	0,99754	0,9993
26	0,99678	0,9986
29	099594	0,9977

^{*} Estos mismos valores, tomados en su forma adimensional, corresponden a la densidad relativa del agua.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- **11.** Las muestras de suelo se deben obtener de acuerdo con lo indicado en las especificaciones técnicas correspondientes, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.
- **12.** La muestra de ensaye compuesta por partículas menores que 5 mm debe tener un tamaño mínimo, referido a su masa seca, de 25 g cuando se usa el frasco y de 10 g cuando se usa la botella con tapón.
- **13.** Acondicionamiento, la muestra de ensaye puede estar con su humedad natural o seca en horno.

Muestra de Ensayo con su Humedad Natural

14. Determine y registre la masa seca (ms) al final del ensaye, evaporando el agua en horno a 110 ± 5°C.

Las muestras de suelo arcilloso con su humedad natural deben dispersarse antes de colocarlas en el frasco.

Nota 5: El volumen mínimo que puede prepararse con el equipo dispersor es tal que se necesita un frasco de 500 ml como picnómetro.

Muestra de Ensayo Seca en Horno

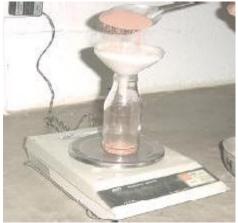
15. Seque hasta masa constante en un horno a 110 ± 5°C; enfríe en un secador, pese y registre la masa seca (ms). A continuación, sumerja la muestra en agua destilada por, a lo menos, 12 h.

Nota 6: El secado de ciertos suelos a 110°C puede extraer humedad de composición o hidratación. En tales casos, el secado debe efectuarse con presión de aire reducida y a temperatura más baja (ver Método para Determinar el Contenido de Humedad).

Cuando se elimina cualquier porción de la muestra original de suelo al preparar la muestra, debe indicarse en el informe la porción sobre la cual se ha efectuado el ensaye.

PROCEDIMIENTO

16. Coloque la muestra en el picnómetro, cuidando de evitar pérdidas del material cuando ya se ha determinado su masa seca. Agregue agua destilada cuidadosamente, evitando la formación de burbujas, hasta alcanzar aproximadamente 3/4 de la capacidad del frasco o la mitad de la capacidad de la botella.



Adición de la Muestra al Envase



Adición de Agua Destilada al Envase

- **17.** Remueva el aire atrapado por uno de los siguientes procedimientos:
- 18. Someta el contenido a un vacío parcial (presión de aire igual o menor que 13,3 kPa (100 mm Hg). Para evitar un burbujeo excesivo aplique un vacío gradual que aumente lentamente hasta el máximo, el cual deberá mantenerse durante 15 min., por lo menos, para conseguir un desairado completo. El picnómetro debe agitarse suavemente para ayudar a la remoción del aire.



Extracción del aire atrapado en la Muestra

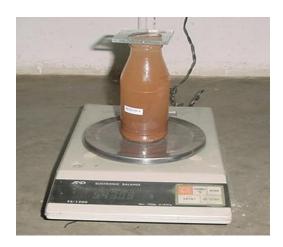
19. Caliente o hierva, por a lo menos 10 min., haciendo girar ocasionalmente el picnómetro para ayudar a la remoción del aire. Posteriormente, someta el contenido a presión de aire reducido.

- 20. Si no cuenta con sistema de vacío, puede colocar el picnómetro en un baño maría de glicerina. Por lo general, 10 min. de hervor son suficientes para expulsar el aire contenido en el material (ocasionalmente el picnómetro debe girarse para ayudar a la remoción del aire); en este caso, debe esperar a que el picnómetro alcance nuevamente la temperatura ambiente para proseguir la prueba.
- **21.** Tape el picnómetro con la muestra y, cuando corresponda, deje enfriar a temperatura ambiente.
- **22.** Agregue agua destilada hasta llenar el picnómetro. Limpie y seque el exterior con un paño limpio y seco. Determine y registre la masa del picnómetro con la muestra y el agua (Mm). Determine y registre la temperatura de ensaye del contenido (tx) aproximando a 1°C.

Nota 7: Es recomendable efectuar dos veces cada prueba a fin de obtener una comprobación.



Enrase del Envase



Peso del Conjunto Total

CÁLCULOS

23. Calcule la densidad de partículas sólidas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\rho_{S} = \frac{ms}{(ms + Ma) - Mm} X \rho_{Wtx}$$

Donde:

ρs : Densidad de partículas sólidas (g/cm³ ó Kg./l)

ms : Masa seca de la muestra de ensaye (g)

Ma : Masa del picnómetro más el agua a la temperatura de ensaye (g) (este valor debe

tomarse de la tabla de valores Ma, preparada de acuerdo con 5.5.

Mm : Masa del picnómetro más la muestra y el agua a la temperatura de ensaye (g).

Nota 8: La norma ASTM D 854 - 58 determina un valor adimensional y Peso Específico, definido como el cuo ciente entre la densidad del suelo y la densidad del agua a una temperatura determinada (de acuerdo con la definición, este valor es una densidad relativa). Cuando se desee determinar este valor, proceder como sigue:

24. Para obtener Gs respecto del agua a 20°C, se aplica la fórmula siguiente:

Gs TX/20° c = G_s tx / tx · K =
$$\frac{p_s}{Pw_{20^{\circ}C}}$$

Donde:

Gstx/20°C = valor de Peso Específico respecto del agua a 20°C.

$$G_{ST}$$
 $tx/tx = \frac{ms}{(ms + Ma) - Mm}$

$$K = \frac{PW_{tx}}{pw_{20^{\circ}c}}$$
 , este valor se obtiene de la tabla S0307_1

25. Para obtener Gs respecto del agua a 4°C, se aplica la fórmula siguiente:

$$G_S tx / 4^{\circ} C = G_S tx / tx \cdot prw_{tx} = \frac{\rho s}{\rho w_{4^{\circ} C}} = \frac{\rho s}{Kg / I}$$

Donde:

Gstx/4°C: Valor del Peso Específico respecto del agua a 4°C.

prw_{tx} : Densidad Relativa del agua a la temperatura del ensaye. Corresponde a:

$$\rho w_{TX} = \frac{\rho w_{TX}}{\rho w_{4^{\circ}C}} = \frac{\rho w_{TX}}{Kg/I}$$

PLANILLA S0307_1 DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO

- (1) OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar
- (2) USO: Se debe indicar cual será o es uso del material a ensayar
- (3) Nº DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada.
- (4) № DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio
- (5) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza El ensayo.
- (6) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra
- (7) MUESTRA Nº: Se debe colocar el numero que identifica la muestra.
- (8) № DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el № de solicitud de servicio con la cual se contrato el ensayo
- (9) MUESTRA Nº: Se debe colocar el número que identifica la muestra
- (10) PICNOMETRO Nº: Se debe colocar el número que identifica el picnómetro
- (11) CAPACIDAD DEL PICNOMETRO, (ml): Se debe anotar la capacidad del picnometro en ml.
- (12) PESO PICNOMETRO (g): Se debe anotar el peso del picnometro vacio en gramos
- (13) PICNOMETRO + SUELO SECO (g): Se debe anotar el peso del picnometro con el contenido de muestra seca en gramos
- (14) SUELO SECO, (g): Se debe anotar el valor en peso de la muestra empleada para el ensayo.
- (15) PICNOMETRO + AGUA + SUELO, (g): Se debe anotar el valor en peso del picnometro + agua + suelo en gramos
- (16) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL, (g)
- (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C): Anotar la temperatura a la que se ejecuta el ensayo
- (18) PESO ESPECIFICO A TEMPERATURA DEL ENSAYO: Se debe anotar el valor que se obtiene de la formula (a)
- (19) PESO ESPECIFICO REFERIDO A 20 ° C: Se debe colocar el valor que se obtiene de la ecuación (b)
- (20) Gs: Es el valor medio de dos ensayo de peso especifico.
- (21) OBSERVACIONES: Se debe colocar cualquier observación que se considere relevante

TABLA \$0307_2 MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO

(9) MJESTRA N° (10) PICNOMETRO N° (11) CAPACIDAD DEL PICNOMETRO, (ml) (12) PESO PICNOMETRO (g) (13) PICNOMETRO + SUELO SECO (g) A (14) SUELO SECO, (g) B (15) PICNOMETRO + AGUA + SUELO, (g) C (10) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL, (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C) G (10) PESO ESPECIFICO A TEMPERATURA DEL ENSAYO
(11) CAPACIDAD DEL PICNOMETRO, (ml) (12) PESO PICNOMETRO (g) (13) PICNOMETRO + SUELO SECO (g) A (14) SUELO SECO, (g) B (15) PICNOMETRO + AGUA + SUELO, (g) C (16) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL, (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
(13) PESO PICNOMETRO (g) (13) PICNOMETRO + SUELO SECO (g) A (14) SUELO SECO . (g) B (15) PICNOMETRO + AGUA + SUELO . (g) C (16) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL . (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
(13) PICNOMETRO + SUELO SECO (g) A (14) SUELO SECO , (g) B (15) PICNOMETRO + AGUA + SUELO , (g) C (14) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL , (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
A (14) SUELO SECO , (g) B (16) PICNOMETRO + AGUA + SUELO , (g) C (16) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL , (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
B (15) PICNOMETRO + AGUA + SUELO, (g) C (16) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL, (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
C (16) PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL, (g) (17) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
(7) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)
C III DEDO ECCECICIO A TEMPERATURA DEL ENCAVO
G "" PESO ESPECIFICO A TEMPERATURA DEL ENSATO
G6 (16) PESO ESPECIFICO REFERIDO A 20 ° C
⁽²⁰⁾ Gs
FACTOR DE CONVERSION K PARA VARIAS TEMPERATURAS (a) G = (A)/(A-(B-C))
TEMP. FACTOR (b) Ge = G * FACTOR K
19 1.0002 (21) OBSERVACIONES

TEMP.	FACTOR
€	K
19	1.0002
20	1.0000
21	0.9998
22	0.9996
23	0.9993
24	0.9991
25	0.9989
26	0.9986
27	0.9983
28	0.9980
29	0.9977
30	0.9974

(21) OBSERVACIONES		

EALIZADO POR:	REVISADO POR:	

CAPÍTULO S0308 - MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)

OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

DEFINICIONES

Equivalente de arena

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Probeta graduada

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (ver Figura S0308_1, Figura 1).

2. Pisón

Compuesto por los siguientes elementos (ver Figura S0308_1, Figura 2).

- a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
- b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
- c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificada de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de 1 kg ± 5 g.
- e) Sifón Compuesto por los siguientes elementos (ver Figura S0308_1, Fig3):
 - a) Una botella de aproximadamente 4 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
 - b) Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
 - c) Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo, una pinza con tornillo).
 - d) Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 \pm 1mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de 0,5 \pm 0,1 mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

3. Medida

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

4. Tamiz

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75 mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo con *el Método S0302* "Análisis granulométrico por tamizado".

5. Recipiente

Estanco y de capacidad igual o mayor que 4 l para preparar el reactivo y la solución de ensaye.

6. Agitador mecánico

Con un desplazamiento horizontal de 200 \pm 2 mm y una velocidad de agitación de 175 \pm 2 ciclos/min.

7. Herramientas y accesorios

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

Reactivos

8. Solución base

- a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:
 - 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
 - 1.085 g de glicerina farmacéutica.
 - 25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).
- b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.

9. Solución de ensaye

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada.



Equipos y Materiales requeridos

CONDICIONES GENERALES

10. Lugar de ensayo

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Muestreo

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los *Métodos A0504 (o H0101)* "Método para extraer y preparar muestras" y *A0505 (o H0102)* "Método para el cuarteo de muestras" Tamaño de la muestra de ensaye.

- a) La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 5 mm.
- b) La muestra para cada ensaye debe ser igual a una medida llena enrasada (85 \pm 5 ml).

Preparación de la Muestra de ensayo

11. Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4); disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.



Tamizado de la Muestra en Tamiz Nº4

12. Reducción.

Reduzca por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

13. Secado.

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 \pm 5° C; deje enfriar a temperatura ambiente.



Horno utilizado en el Ensayo



Introducción de la Muestra en el Horno

PROCEDIMIENTO

- 14. Coloque la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
- **15.** Sifonee la solución de ensaye en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.



Llenado de la Probeta con la Solución de Ensayo

- **16.** Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
- 17. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.
- 18. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- 19. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.



de Ensayo



Adición del Agregado en la Probeta Expulsión de las burbujas de aire en Muestras en reposo la Probeta de Ensayo



- **20.** Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
- **21.** Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
 - a) Agitación manual. Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 seg.

Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

Nota 2: Antes de autorizar a un operador para realizar el ensaye de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayadas deacuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayos realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de \pm 4 puntos respecto al promedio de esos ensayos. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizársele a efectuar este ensaye hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplen con los límites especificados.

b) Agitación mecánica. Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1seg.



Equipo Agitador con la Muestra

- **22.** Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- **23.** Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.



24. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel

Probeta

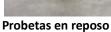
final a 380 mm. 25. Deje sedimentar por un periodo de 20 min ± 15 s N.

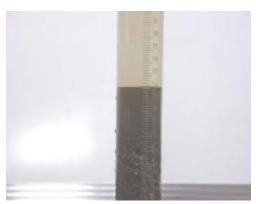
25. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla (t) aproximando al milímetro.

Nota 3: Si después de 20 min. no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe. Cuando el tiempo total exceda de 30 min., repita 3 veces el ensaye con muestras del mismo material. Registrar el t. Que requiera el período de sedimentación más breve.

Irrigación al fondo de la Probeta





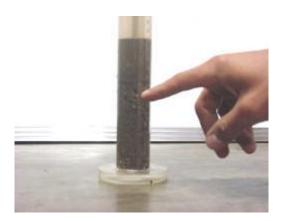


Lectura de Suspensión

- 26. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (Na) aproximando al milímetro.
 - Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a, según corresponda.



Barra Estándar dentro de la Probeta



Lectura del Sedimento de Arena

CÁLCULOS

27. Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA(\%) = \left(N_a / N_t\right) \cdot 100$$

Donde:

: Equivalente de arena (%).
: Nivel superior de la arena (mm).

Nivel superior de la arcilla (mm).

28. Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayes paralelos, con aproximación al 1 % superior.

PRECISIÓN

- **29.** Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayes paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.
- 30. Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 29.

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Procedimiento de agitación.
- d) Resultado del ensaye.
- e) Fecha del ensaye.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensaye o al árido.
- g) La referencia a este método.

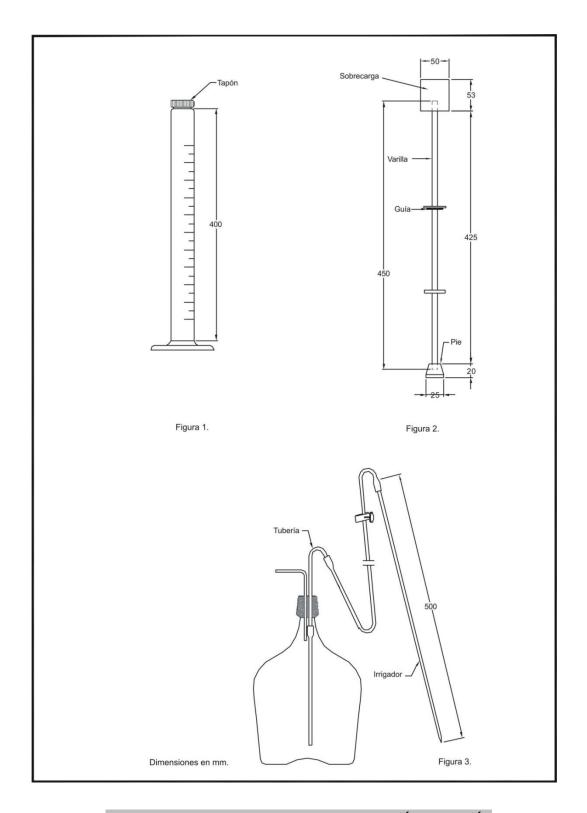


FIGURA S0308_1FIG1. PROBETA GRADUADA, FIG2.PISÓN, FIG3. SIFÓN

PLANILLA S0308_1 DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA

					⁽²⁾ FECHA:	
⁽³⁾ USO:		(4) PROCEDE	NCIA:	⁽⁵⁾ N° DE SOL. SERV.:		
		•		•	•	
N° CAMPO N° DE MUESTRA	(6) (7)		(10) LECTURA SUSPENSION (a)	(11) LECTURA SEDIMENTACION (b)	(12) EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100	
Nº LABORATORIO	(8)	\dashv \vdash	(a)	(5)	(bia) 100	
PROFUNDIDAD	(9)	\neg				
		<u> </u>				
		·		(13) PROMEDIO		
N° CAMPO			(10) LECTURA	(11) LECTURA	(12) EQUIVALENTE	
N° DE MUESTRA	(6)	\dashv \mid	SUSPENSION	SEDIMENTACION	DE ARENA	
Nº LABORATORIO	(8)	\dashv \vdash	(a)	(b)	(b/a)*100	
PROFUNDIDAD	(9)	\dashv				
		-				
				(13) PROMEDIO		
N° CAMPO	(6)		(10) LECTURA	(11) LECTURA	(12) EQUIVALENTE	
N° DE MUESTRA	(7)		SUSPENSION (a)	SEDIMENTACION (b)	DE ARENA (b/a)*100	
Nº LABORATORIO	(8)					
PROFUNDIDAD	(9)					
		Ţ				
				(13) PROMEDIO		
⁽¹⁴⁾ OBSERVACION	NES:					
REALIZADO POR:		1	REVISADO POR:			

TABLA S0308_1 MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE DETERMINACIÓN DEEQUIVALENTE DE ARENA

- OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar
- (2) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza el ensayo.
- (3) USO: Se debe indicar cual será o es uso del material a ensayar
- (4) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra
- (5) Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el Nº de la solicitud de servicio con la cual se contrato el ensayo
- (6) Nº DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada.
- (7) Nº MUESTRA: Se debe colocar el numero que identifica cada muestra recolectada.
- (8) Nº DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio.
- (9) PROFUNDIDAD: Se debe cololocar la lectura de profundida medida
- (10) LECTURA DE SUSPENSION: Se debe colocar la lectura que se obtiene de la barra Standard
- (11) LECTURA DE SEDIMENTACION: Se debe colocar la lectura que se obtiene de la barra Standard.
- (12) EQUIVALENTE DE ARENA: Se debe anotar el valor de equivalente de arena que se obtiene de la ecuación señalada en esta colunna.
- (13) PROMEDIO: Se debe anotar el valor medio del resultado del equivalente de arena.
- (14) OBSERVACIONES: Se debe colocar cualquier apreciación adicional que se quiera comentar

CAPÍTULO S0309 - DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO EN SUELOS MEDIANTE PÉRDIDA POR IGNICIÓN (AASTHO T267)

OBJETO

El método de "pérdida por ignición" para la determinación del contenido orgánico es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos como lignito, carbón, etc.

Este método sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. El método de la "Combustión Húmeda" *(AASHTO T194)*, se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico (del tipo humus) fácilmente oxidable para suministrar información relacionada con la adecuabilidad de un suelo para cultivo.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **1.** Horno, que pueda mantener temperaturas de 110 ± 5°C (230 ±9°F). Cuando se seca material liviano, puede ser necesario utilizar un horno de gravedad en lugar de uno de convección.
- 2. Balanza, de 1200 g de capacidad y con una precisión de 0,01 g.
- **3.** Mufla, que pueda mantener una temperatura continua de 445 ±10°C (833 ± 18°F), y que tenga una cámara de combustión donde se pueda acomodar el recipiente designado con la muestra. El registro del pirómetro deberá indicar la temperatura mientras se halle en uso.
- **4.** Crisoles o platos de evaporación Crisoles de pedernal, aleaciones de aluminio, porcelana o nickel de 30 a 50 ml de capacidad o platos de evaporación de porcelana, de 100 mm de diámetro superior.
- 5. Desecadores, de tamaño adecuado.
- **6.** Recipientes, a prueba de moho, de metal, porcelana, vidrio o recubiertos de plástico.
- 7. Suministros misceláneos. Tamiz № 10 Guantes de asbesto, pinzas, espátula, etc.



Equipos requeridos para el Ensayo

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- **8.** Deberá tomarse una muestra representativa, que pese al menos 100 g, de una porción del material que pase el tamiz de 2,00 mm (No.10) y la cual haya sido obtenida de acuerdo con el Método S0204, "Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas".
- 9. Colóquese en un recipiente la muestra y séquese en el horno a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta peso constante. Remuévase la muestra del horno, colóquese en el desecador y déjese enfriar.

Nota 1: Puede permitirse que la muestra permanezca en el horno hasta cuando se vaya a proseguir con el resto del ensayo.



Extracción del Horno de Muestra Seca

PROCEDIMIENTO

10. Escójase una muestra que pese aproximadamente de 10 a40 g, colóquese en crisoles tarados o en platos de evaporación de porcelana y pésese, con aproximación a 0,01 g.

Nota 2: Los pesos de muestra de materiales livianos como la turba pueden ser menores de 10 g, pero deberán ser de suficiente cantidad para llenar el crisol al menos hasta 3/4 de profundidad. Puede requerirse inicialmente una tapa sobre el crisol durante la fase inicial de ignición para disminuir la posibilidad de que la muestra sea arrojada fuera del recipiente.







Introducción del Crisol en la Mufla

11. Colóquese el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a $445 \pm 10^{\circ}$ C.

Remuévase la muestra de la mufla, colóquese en el desecador y permítase enfriar.



Extracción de la Muestra de la Mufla



Muestra en el Desecador

12. Remuévase la muestra enfriada del desecador y pésese con aproximación a 0,01g.



Muestra Seca pesada en el Crisol

CÁLCULOS

13. El contenido orgánico deberá expresarse como un porcentaje del peso del suelo secado en el horno y deberá calcularse así:

% de materia organica =
$$\frac{A-B}{B-C}$$
 X 100

Donde:

A = Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al homo antes de la ignición.

B = Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición.

C = Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01gramos.

14. Calcúlese el porcentaje del contenido orgánico con aproximación al 0,1%.

CAPÍTULO S0310 - PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CARGA CONSTANTE) (ASTM D2434 AASHTO T215)

OBJETO

Este método de ensayo cubre un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de carga constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75 mm (No.200).

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Permeámetros, como se indican en la *Figura S0310_1*, deberán tener cilindros para muestras con diámetro mínimo de aproximadamente 8 a 12 veces el tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la *Tabla S0310_1*. El permeámetro deberá contar con : (1) un disco poroso o una malla reforzada adecuada para el fondo, con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas para impedir el movimiento de partículas; (2) tomas de manómetros para medir la pérdida de carga, h, sobre una longitud, l, equivalente al menos al diámetro del cilindro; (3) un disco poroso o una malla adecuada reforzada con un resorte adherido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo, para aplicar una ligera presión de resorte, de 22 a 44 N (5 a 10 lbf) de carga total, cuando la placa superior se halla colocada en su sitio. Esto mantendrá el peso unitario y el volumen del suelo sin cambio durante la saturación y durante el ensayo de permeabilidad, para satisfacer los requerimientos prescritos en el punto "Condiciones generales".
- 2. Tanque de carga constante con filtro, como se muestra en la Figura S0310_1, para suministrar agua y para remover aire de la conexión de agua, provisto de válvulas de control adecuadas para mantener las condiciones descritas en el punto "Condiciones generales". Si se prefiere, puede emplearse agua desaireada.
- **3.** Embudos amplios, equipados con canalones cilíndricos especiales de 25mm (1") de diámetro para partículas de tamaño máximo de 9.5mm (3/8"), y de 12.7mm (1/2") de diámetro para partículas de tamaño de 2.00mm (No.10).
- **4.** La longitud del canalón deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad por lo menos en 152mm (6").
- 5. Equipo para la compactación del espécimen.- Puede emplearse el equipo de compactación que se considere deseable. Se sugieren los siguientes: un pisón vibratorio provisto de un pie de compactación de 50mm (2") de diámetro; un pisón de impacto con un peso deslizante consistente de un pie apisonador de 50mm (2") de diámetro, y una varilla para pesas deslizantes de 100g (0.22 lb) (para arenas) a 1 kg (2.25 lb) (para suelos con un contenido apreciable de grava), que tenga una caída ajustable a 100 mm (4") para arenas y 200 mm (8") para suelos con alto contenido de grava.
- **6.** Bomba de vacío o aspirador de chorro de agua, con grifo para evacuar y saturar muestras de suelo con vacío completo (*Figura \$0310_2*)
- 7. Tubos manométricos con escalas métricas para medir presión de agua.
- **8.** Balanza de capacidad de 2 Kg. y sensibilidad de 1 g.

TABLA S0310 1DIÁMETRO DEL CILINDRO

	Diámetro mínimo del cilindro				
Tamaño máximo de partículas	% retenido (*) > 35%		% retenido (*) < 35%		
que pasan entre tamices	2,00 mm (No.10)	9,50 mm (3/8")	2,00 mm (No.10)	9,50 mm (3/8")	
2,00 mm (No.10) y 9,50 mm (3/8")	75 mm (3")		115 mm (4.5")		
9,50 mm (3/8") y 19 mm (¾")		150 mm (6")		230 mm (9")	

^{(*) %} retenido = suelo total retenido en el tamiz del tamaño indicado inmediatamente debajo.

- 9. Cucharón, con una capacidad de alrededor de 100 g. (0.22 lb de suelo).
- **10.** Equipos misceláneos Termómetros, reloj con apreciación de segundos, vaso graduado de 250 ml, jarra de 1 litro, cubeta para mezclar, cucharas, etc.

CONDICIONES GENERALES

- **11.** Las siguientes condiciones ideales de ensayo son prerrequisitos, para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares bajo condiciones de carga constante:
 - a) Continuidad de flujo sin cambios en el volumen del suelo durante el ensayo.
 - b) Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire dentro de los mismos.
 - c) Flujo uniforme sin cambios en el gradiente hidráulico, y
 - d) Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, en los cuales se inicia el flujo turbulento.
- **12.** Todos los demás tipos de flujo que involucran saturación parcial de los vacíos del suelo, flujo turbulento, y flujo no uniforme son de carácter transitorio y producen variables y coeficientes de permeabilidad que dependen del tiempo; por esto, requieren condiciones y procedimientos especiales de ensayo.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 13. Deberá escogerse por cuarteo una muestra representativa de suelo granular secado al aire, que contenga menos del 10% de suelo que pase tamiz de 75 μ m (No.200) y en cantidad suficiente para satisfacer las exigencias de los numerales 14 y 15.
- **14.** Deberá ejecutarse un análisis granulométrico de acuerdo con los métodos descritos en S0302 y S0303 sobre una muestra representativa de la totalidad del suelo antes del ensayo de permeabilidad.
 - Las partículas mayores de 19,0 mm (3/4") deberán separarse por tamizado. Los sobre tamaños no deberán emplearse para el ensayo de permeabilidad, pero deberá anotarse el porcentaje de los mismos.
- **15.** Para establecer valores representativos de coeficientes de permeabilidad para el intervalo que pueda existir en la situación que se esté investigando, deberán obtenerse para ensayo muestras de los suelos más finos, intermedios, y más gruesos.
- **16.** Del material del cual han sido removidos los sobre tamaños, escójase mediante cuarteo una cantidad aproximadamente igual a dos veces la requerida para llenar la cámara del permeámetro.
- 17. Para la preparación de la muestra deberá considerarse las siguientes condiciones:

- a) El tamaño del permeámetro que va a emplearse deberá cumplir lo estipulado en la **Tabla S0310** 1.
- b) Efectúense las siguientes medidas iniciales en milímetros o en milímetros cuadrados y anótese en el formato de informe el diámetro interior "D" del permeámetro, la longitud "L" entre las salidas de manómetro; la profundidad "H1" medida en cuatro puntos simétricamente espaciados desde la superficie superior de la placa tope del cilindro de permeabilidad, hasta la parte superior de la piedra porosa superior, o de la malla, colocada temporalmente sobre la placa porosa o malla inferior. Esto deduce automáticamente el espesor de la placa porosa superior o malla de las medidas de altura tomadas para determinar el volumen del suelo colocado en el cilindro de permeabilidad. Puede también emplearse una placa duplicada para la parte superior, que tenga cuatro aberturas simétricamente colocadas, a través de las cuales se efectúan las medidas requeridas para determinar el valor promedio de "H1". Calcúlese el área de la sección transversal "A" de la muestra.
- c) Tómese una pequeña parte de la muestra escogida como se prescribe en los numerales 13, 14 y 15 para las determinaciones de humedad. Anótese el peso del remanente de la muestra secada al aire (numerales 13, 14 y 15), W1, para las determinaciones de peso unitario.
- d) Colóquese el suelo preparado mediante uno de los procedimientos siguientes, en capas delgadas uniformes aproximadamente iguales en espesor al tamaño máximo de las partículas después de compactadas, pero no menor de 15 mm (0.60"), aproximadamente.
- e) Para suelos con un tamaño máximo de 9,5 mm (3/8") o menos; colóquese en el aparato el tamaño apropiado de embudo, con el conducto en contacto con la placa porosa o malla inferior, o con la capa previamente formada, y llénese el embudo con suelo suficiente para formar una capa, tomando suelo de diferentes áreas de la muestra en la bandeja. Levántese el embudo a una altura de 15 mm (0.60"), o aproximadamente igual al espesor de la capa no consolidada que se va a conformar y distribúyase el suelo con movimiento lento en espiral, trabajando desde el perímetro del aparato hacia el centro, de manera que se forme una capa uniforme. Vuélvase a mezclar en la bandeja el suelo para cada capa sucesiva, con el fin de reducir la segregación que hubiera podido producirse.
- f) Para suelos con un tamaño máximo mayor de 9,5 mm (3/8") distribúyase el suelo con un cucharón. Puede lograrse un extendido uniforme deslizando el cucharón con suelo en posición casi horizontal hacia abajo y a lo largo de la superficie interior hasta llegar al fondo o hasta la capa formada, inclinando luego el cucharón y levantándolo hacia el centro con un sencillo movimiento lento; esto permite al suelo correr suavemente sobre el cucharón sin segregación.

Gírese suficientemente el cilindro para la cucharada siguiente progresando así en torno al perímetro interior para formar una "capa uniforme compactada de espesor igual al tamaño máximo de las partículas".

18. Compáctense capas sucesivas de suelo al peso unitario relativo deseado, mediante un procedimiento apropiado, como sigue, hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.8") por encima de la salida del manómetro superior.

Peso unitario mínimo (Peso unitario relativo del 0%)

Continúese colocando capas de suelo en forma sucesiva mediante uno de los procedimientos descritos en el numeral 17 d) hasta cuando el aparato esté lleno al nivel apropiado.

Peso unitario máximo (Peso unitario relativo del 100%)

- a) Compactación mediante el pisón vibratorio.- Compáctese perfectamente cada capa de suelo con el pisón vibratorio mediante golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa siguiendo una trayectoria regular. La presión de contacto y la duración de la acción vibratoria en cada punto no deberán hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a que se afloje la capa. Efectúese un número de coberturas suficientes para producir un peso unitario máximo, como quedaría evidenciado prácticamente cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.
- b) Compactación mediante el pisón de peso deslizante.- Compáctese completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Ajústese la altura de caída y proporciónense suficientes coberturas para producir el peso unitario máximo, de acuerdo con el tamaño de las partículas y con el contenido de grava del suelo.
- c) Compactación mediante otros métodos.- La compactación puede cumplirse mediante otros métodos aprobados, como los proporcionados mediante equipos de empaque vibratorios, en los cuales se tiene cuidado de obtener un espécimen uniforme sin segregaciones de partículas por sus tamaños.

Peso unitario relativo intermedio entre 0 y 100 %

- a) Mediante tanteos, en un recipiente separado del mismo diámetro que el cilindro de permeabilidad, ajústese la compactación para obtener valores que puedan repetirse para el peso unitario relativo. Compáctese el suelo en el cilindro de permeabilidad mediante estos procedimientos en capas delgadas hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.80") por encima de la salida del manómetro superior.
- b) Con el fin de relacionar sistemáticamente y de manera representativa, las condiciones de peso unitario relativo que pueden regir en depósitos naturales o en terraplenes compactados, deberá efectuarse una serie de ensayos de permeabilidad que cubran el rango de los pesos unitarios relativos en el campo.

PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Nivélese la superficie superior del suelo colocando la placa porosa o la malla superior en posición y rotándola suavemente a derecha e izquierda.

Mídanse y anótense: la altura final de la muestra, H1-H2, midiendo la profundidad, H2, desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir H1, hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo (W1-W2), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en los numerales 13, 14 y 15 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura S0310_2), bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desaireada, (2) de agua mantenida a una temperatura de flujo suficientemente alta para causar una disminución, del gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo. Podrá emplearse agua natural o agua con bajo contenido de minerales, pero deberá anotarse en el formato de ensayo, en cualquier caso, el fluido utilizado. Esto satisfará la condición descrita en los numerales 13, 14 y 15. Para la saturación de los vacíos del suelo.

-Agua natural es la que se presenta in situ en el suelo o en la roca. Debería emplearse esta agua, pero (al igual que el agua desaireada), puede ser un refinamiento poco práctico para la ejecución de ensayos en gran escala.

Después de saturado el espécimen y que el permeámetro se encuentre lleno de agua, ciérrese la válvula del fondo sobre el tubo de desagüe (véase Figura S0310_2) y desconéctese el vacío. Debe tenerse cuidado de constatar que el sistema de flujo de permeabilidad y que el sistema de manómetros se hallen libres de aire y estén trabajando satisfactoriamente. Llénese el tubo de admisión con agua proveniente del tanque de carga constante, abriendo ligeramente la válvula del filtro del tanque. Conéctese el tubo de admisión al tope del permeámetro, ábranse ligeramente la válvula de admisión y los grifos del manómetro de salida, para permitir que fluya el agua, eliminándose así el aire. Conéctense los tubos manométricos de agua con las salidas de manómetro, y llénense con agua para remover el aire. Ciérrese la válvula de admisión y ábrase la de desagüe, para que el agua alcance, en los tubos manométricos, un nivel estable con presión cero.

PROCEDIMIENTO

Abrase ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para la primera prueba hasta lograr las condiciones descritas, absteniéndose de tomar las medidas de gasto y de presión hasta que se alcance una condición de presión estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Mídase y anótese el tiempo, "t", la presión, "h", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, "Q", y la temperatura del agua, "T".

Repítanse las pruebas con incrementos de presión de 5 mm para establecer exactamente la zona de flujo laminar con velocidad, v (siendo v = Q/At) directamente proporcional al gradiente hidráulico, "i" (siendo i = h/L). Cuando se hagan patentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, pueden emplearse intervalos de presión de 10 mm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento como para definir esta zona si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico h/L, de los que generalmente se reconocen para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compactación suelta, relaciones de h/L de 0.2 a 0.3, y compactación densa, relaciones de h/L de 0.3 a 0.5. Los valores menores de h/L se aplican a suelos gruesos y los mayores a suelos finos.

Al concluir el ensayo de permeabilidad, drénese y examínese la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras son evidencia de la segregación de finos.

CÁLCULOS

Calcúlese el coeficiente de permeabilidad, k, así:

$$k = \frac{QL}{A th}$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad,

Q = Gasto, es decir cantidad de agua descargada.

L = Distancia entre manómetros

A = Área de la sección transversal del espécimen

t = Tiempo total de desagüe

h = Diferencia de presión (altura) sobre los manómetros

Corríjase la permeabilidad [para la que corresponde a 20 °C (68 °F)], multiplicando k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo con respecto a la viscosidad del agua a 20 °C (68 °F).

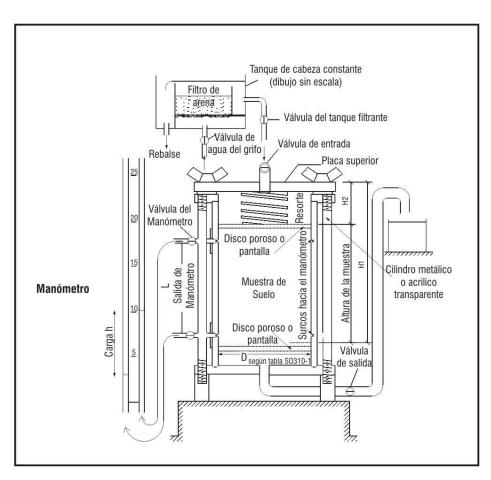


FIGURA S0310_1 PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE

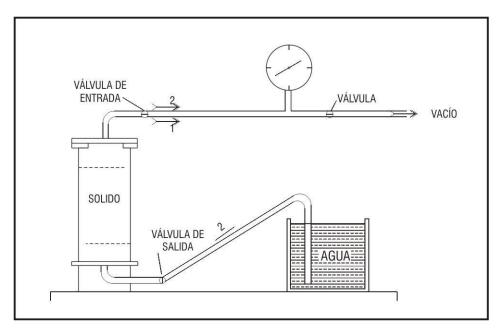


FIGURA S0310_2APARATO PARA LA EVACUACIÓN Y SATURACIÓN DE LO ESPECÍMENES

CAPÍTULO S0311 - DETERMINACIÓN DEL PH DE LOS SUELOS (ASTM G51)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación del pH (potencial del hidrógeno) de un suelo. Se describen dos métodos generales de medición de pH: métodos eléctricos y métodos colorimétricos.

Los métodos eléctricos para la determinación del pH están basados en el principio de que las soluciones que se van a ensayar pueden considerarse como un electrolito de una celda voltaica.

El electrodo de referencia se mantiene a un voltaje constante y no es afectado por los cambios de pH. El otro electrodo es de tal naturaleza que el pH de la solución afecta su voltaje. La relación entre el pH y el voltaje de la celda de las soluciones de ensayo pueden convertirse a valores de pH. El voltaje de soluciones de pH desconocido puede determinarse midiendo el voltaje de la celda y convirtiendo el valor del voltaje a unidades de pH. Cuando se usan electrodos especificados, es posible diseñar el indicador de voltaje para que puedan leerse directamente valores de pH. El electrodo de referencia es generalmente del tipo de calomel saturado, el cual tiene un potencial constante con respecto a la solución de ensayo y envuelve un mínimo de dificultades con los potenciales de los líquidos que están en su unión. El otro electrodo puede ser del tipo de hidrógeno, quinhidroma, antimonio o vidrio. El electrodo de vidrio generalmente se considera más adecuado y ha tenido mayor uso en los últimos años.

El electrodo de vidrio consiste de un bulbo muy delgado hecho de un tipo de vidrio especial. En el interior del bulbo va colocado un electrolito conveniente y un electrodo. Se ha encontrado que tal electrodo permite exactitud en la medida del pH en la escala 0 a 9, sin afectarlo la presencia de agentes oxidantes, reductores, materias coloidales, sólidos en suspensión, etc., y es igualmente exacto cuando se ensayan soluciones "buffer". Los mismos resultados para valores de pH por encima de 9, excepto para desviaciones causadas por el incremento de iones activos de sodio y otros metales alcalinos, los cuales deben corregirse por ensayos con soluciones "buffer" normales de valores de pH aproximados a la solución de ensayo, o por el uso de curvas de corrección especiales, suministradas con el instrumento. El método eléctrico, aquí descrito, limita los electrodos a ser de dos materiales: calomel y vidrio.

Los métodos colorimétricos son los más baratos y los más sencillos para la determinación del pH. Las lecturas se pueden hacer rápidamente y el método es aplicable en el caso de que no sea necesaria una gran exactitud. En este tipo de determinación del pH, unas pocas gotas del indicador adecuado se le agregan a la solución. El color de la mezcla obtenida se compara contra colores estándar que pueden ser soluciones coloreadas o tablas, de papel coloreado.

El método colorimétrico es susceptible de error por temperatura, efecto del solvente, oxidación, reducción, efecto salino, proteínico, coloidal y por soluciones "buffer" diluidas. Los mayores errores son introducidos por el efecto coloidal y escasez de "buffer" en una solución, aunque la oxidación y reducción pueden causar errores notables.

Puesto que la mayoría de los indicadores usados son ácidos o bases orgánicas débiles, es obvio que cuando se agregan a soluciones no "buffer" tenderán a cambiar el pH exactamente como lo haría la adición de otros ácidos o bases.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

Esto ocasiona que los valores de pH cuando se determinan con indicadores en soluciones débilmente "buffer" sean susceptibles de error. En soluciones "buffer" concentradas el efecto del indicador no es notable.

El efecto coloidal es debido a materiales coloidales en ciertas soluciones de suelos, las cuales con frecuencia exhiben absorción específica, aumentando el error en varias unidades de pH.

La oxidación y reducción afectan los indicadores, puesto que ellos son por naturaleza colorantes orgánicos. Con frecuencia son blanqueados por la oxidación o la reducción causada por constituyentes del suelo, dando como resultado indicaciones falsas en el color.

La temperatura afecta el grado de ionización de ácidos, bases o sales. Consecuentemente, pueden introducirse errores en el pH si no se considera la temperatura. Es mejor llevar a cabo todas las determinaciones de pH a la misma temperatura (20 a30°C) o en todo caso, anotar la temperatura a la cual se hizo la determinación.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Ph Metros, existen dos tipos de estos medidores: (1) potenciométricos, los cuales tienen indicación nula, y (2) tipo amplificador de alta impedancia, el cual da el pH directamente (sin indicación nula).
 - Los medidores se consiguen portátiles, de baterías, de modo que pueden ser usados en el campo. El medidor potenciométrico es más exacto y generalmente más versátil.
- 2. Electrodos de vidrio y de calomel, en la determinación del pH debe usarse un electrodo saturado de calomel, de referencia, o equivalente. Unos pocos cristales de KCl deben estar siempre presentes dentro de la cámara que rodea al calomel para asegurar que la solución esté saturada bajo las condiciones de uso. El diseño del electrodo debe permitir la formación de una interfase fresca entre la solución de KCl y el "buffer" o la muestra de suelo para cada ensayo, y debe permitir que los trozos de suelo que queden, sean fácilmente removidos mediante lavado.
- **3.** También se requiere un electrodo de vidrio de construcción fuerte. La respuesta al pH del electrodo de vidrio debe considerarse satisfactoria si provee el valor correcto de pH (con tolerancia de ± 0,1 unidades de pH) para soluciones en equilibrio (soluciones buffer).

Nota 1: Estas soluciones de equilibrio (soluciones buffer) se obtienen añadiendo agua destilada a un producto fabricado en forma de tabletas o de polvo por compañías de productos químicos o suministrados por los fabricantes de los medidores de pH.

- **4.** Puede aceptarse que los electrodos, el de calomel y el de vidrio, se encuentren formando una sola unidad o electrodo combinado, siempre y cuando se cumplan los requisitos arriba mencionados.
- **5.** Sonda, cuando se requiera medir el pH en un sitio por debajo de la superficie del suelo, es necesario utilizar una sonda de longitud apropiada que permita efectuar las mediciones a la profundidad de interés. Esta sonda consiste en un electrodo de vidrio o en un electrodo combinado localizado dentro de una cubeta de caucho, al final de un tubo plástico.

ENSAYO DEL EQUIPO

Previamente a su utilización en el campo o periódicamente cuando su uso es extensivo allí, el aparato debe ser revisado para comprobar su linealidad y respuesta. El procedimiento de revisión es el siguiente:

- **6.** Enciéndase el instrumento, déjese calentar suficientemente, y llévese hasta un balance eléctrico, de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Antes de usarlo, límpiese y lávense los electrodos de vidrio y de calomel con agua destilada.
 - **Nota 2**: Los electrodos de vidrio nuevos, y aquéllos que han sido almacenados en seco deben ser previamente acondicionados según las recomendaciones del fabricante.
- 7. Se requieren al menos dos soluciones de equilibrio (buffer) estándar, para pH, que abarquen el valor de pH del suelo que va a ser determinado. Por experiencia se recomiendan las soluciones de pH igual a 4, 7 y 8. La temperatura de ensayo de estas soluciones no deberá diferir en más de 5°C entre ellas.
- **8.** Ajústese el dial compensador de temperatura del pH-metro, a la temperatura estándar de la solución.
- **9.** Sumérjanse los electrodos en un pequeño volumen de la primera solución estándar conocida. Ahora ajústese el pH-metro para corregir la lectura observada al valor de pH conocido, mediante el dial correspondiente.
- **10.** Remuévanse los electrodos de la primera solución estándar y lávense con agua destilada. Sumérjanse los electrodos en la segunda solución estándar. Si la lectura observada no difiere en más de 0,1 unidades del valor de pH conocido de la segunda solución, puede considerarse que el aparato está funcionando satisfactoriamente.

CALIBRACIÓN DEL PH-METRO

- a) Calíbrese el pH-metro antes de su utilización. Si es necesario efectuar una serie larga de mediciones, compleméntese la calibración inicial con una calibración cada 30 min. La calibración se efectuará como sigue:
- b) Úsese una solución estándar en un intervalo que incluya el pH del suelo de ensayo, si esta información puede estimarse. De otro modo, comiéncese con una solución que tenga un pH de 7. Estabilícese la temperatura de la solución de forma tal que se ajuste a la temperatura del suelo de ensayo, con una tolerancia de ± 10°C.
- c) Sumérjanse los electrodos en la solución estándar y ajústese la lectura del pH-metro a la real conocida, de la solución, utilizando el dial calibrador.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 11. Idealmente, la medición del pH debería hacerse en el campo, sobre muestras inalteradas con el electrodo de vidrio haciendo contacto con el suelo a la profundidad de interés. Si se desea medir el pH del suelo de la superficie, el suelo puede ser desintegrado si está compactado, para dar cabida a los electrodos. Si se desea una medición subterránea del pH, es necesario efectuar una perforación o una excavación que permita colocar el electrodo en el suelo a la profundidad deseada. La sonda es ideal para usarla con una herramienta perforadora, como por ejemplo una barrena de mano. Después de haber hecho la perforación, puede bajarse cuidadosamente la sonda en la cavidad, sin una preparación adicional del suelo.
- **12.** Las muestras de suelo pueden ser extraídas a la superficie con una herramienta perforadora o algún extractor de muestras, y la medida puede hacerse en el campo, sobre la muestra así obtenida. Esta técnica es menos deseable que la de la sonda, descrita arriba.
- 13. La técnica menos aconsejable para medir el pH es aquella basada en una muestra transportada a un laboratorio para efectuar allí el ensayo. Sin embargo, si es inevitable hacerlo así, la medición del pH debe hacerse tan pronto como sea recibida la muestra. Colóquese la muestra en un recipiente de vidrio, limpio y hermético, o en una bolsa plástica de manera que el suelo no tenga contacto con algún metal. Si la medida del pH no se hace dentro de las 24 horas siguientes al momento de extracción de la muestra, se recomienda empacar la muestra en hielo seco, para

- retardar cualquier cambio en el pH debido a reacciones químicas o biológicas. Efectúese la medición del pH sobre la muestra tal como se recibió, y a la temperatura ambiente.
- **14.** La adición de agua en ningún caso es recomendada, ya que existen suelos que con ello pueden variar su pH. Sin embargo, si un suelo es extremadamente seco y tiene una resistividad que excede de 106-cm, lo cual es una condición poco común, entonces la medición del pH no puede y no debe hacerse. Esta situación se manifestará con un movimiento aleatorio de la lectura del pH-metro.

PROCEDIMIENTO

- **15.** Calíbrese el aparato como se indicó en el punto "Calibración del Ph Metro". La temperatura del suelo deberá ajustarse a la temperatura de la solución estándar con una tolerancia de ± 10°C. Sin embargo, el dial compensador de temperatura deberá permanecer como se ajustó en el momento de la calibración.
- 16. Límpiese la superficie de los electrodos, lavándolos con agua destilada.
- **17.** Presiónese el área de contacto del electrodo de vidrio o del electrodo combinado, según el caso, contra el suelo inalterado, en el sitio de interés.
- **18.** El electrodo de referencia deberá ponerse en contacto con el suelo cercano al electrodo de vidrio, en caso de electrodos separados. Se sugiere una separación de 300 mm (1 pie) para mediciones superficiales. Para mediciones subterráneas, el electrodo de referencia puede ser colocado sobre la superficie, a 300 mm (1 pie) aproximadamente del orificio de perforación.
- **19.** Con los electrodos colocados en sitio, dispóngase el aparato para leer el pH, déjense unos minutos para que se establezca el equilibrio, y tómese luego la lectura.
- **20.** Después de varios minutos, repítase la medición. Los valores obtenidos no deberán diferir en más de 0,2 unidades de pH entre ellos.

MÉTODO COLORIMÉTRICO USANDO EL JUEGO DE INDICADOR DE CAMPO LA MOTTE KENNY

- **21.** El aparato consiste en tres ampollas de solución de indicador: rojo de metilo (para pH 4,4 a 6,0), azul de bromotymol (para pH 6,0 a 7,6) y rojo cresol (para pH 7,2 a 8,8), cada frasco con una pipeta y tres ampollas para hacer los ensayos. Este equipo está completamente dispuesto en una caja de madera de tamaño de bolsillo; también acompaña al aparato una tabla de comparación de color.
- **22.** El procedimiento para realizar el ensaye correspondiente debe seguir los siguientes pasos:
 - a) Llénese cada uno de los tres tubos hasta la marca más baja con el suelo que se va a ensayar y luego llénese cada tubo hasta la marca superior con agua destilada.
 Agítese cada tubo fuertemente y colóqueseles nuevamente en los huecos correspondientes.
 - b) Al primer tubo agréguese una gota de indicador rojo de metilo, sosteniendo la pipeta en una posición vertical; al segundo una gota de azul de bromotymol y al tercero una gota de rojo de cresol. Agítese cada tubo y vuélvasele de nuevo a los huecos. Si después de agitar los tubos no están llenos hasta la marca, agréguese suficiente agua para llevar el nivel a la marca exacta.
 - Tápense los frascos y déjense quietos en los huecos. Déjese en una posición vertical el tubo con el suelo para que se asiente hasta que las porciones claras de los tubos muestren colores definidos.
 - c) Primero compárese el color del tubo al cual se le agregó rojo de metilo, con la tabla de comparación rojo de metilo; si se obtiene una igual, léase directamente

la reacción del suelo en la tabla o sea 4,6, 5,2, 5,6 etc. En este caso, no hay necesidad de hacer nuevas lecturas. Si este primer tubo muestra un color que es tan amarillo como el normal rojo de metilo de pH 6,0, compárese el color del segundo tubo al cual se le agregó azul de bromotimol con la tabla de azul bromotimol. Si se encuentra un color igual al del normal, se hace la lectura directa. Pero si este tubo muestra un color azul igual al normal de azul bromotimol de pH 7,6, compárese el último tubo al que se le agregó rojo de cresol con el normal de rojo cresol y hágase la lectura directamente.

Nota 3: Para asegurar resultados satisfactorios, el ensayo de suelos arcillosos, por el método La Motte Kenny, requiere la siguiente modificación: la muestra de arcilla se debe mezclar con BaCl, 0.1N y agitar con un agitador de vidrio. Los indicadores deben agregarse a la mezcla bien agitada y dejarse precipitar. El suelo se asentará aproximadamente en 5 minutos. La comparación debe hacerse directamente con la tabla de comparación.

PROCEDIMIENTO COLORIMÉTRICO USANDO EL JUEGO SOILTEST (USADO EN EL ESTADO DE MICHIGAN)

- **23.** Un método colorimétrico económico y conveniente para determinar valores de pH aproximados, es el procedimiento de juego Soiltest.
- **24.** Se utiliza una solución indicadora universal que cubre una gama de pH entre 3,0 a 9,0. **Acompañan el aparato las instrucciones y una tabla de comparación.**
- **25.** El procedimiento incluye las instrucciones siguientes:
 - a) Para abrir el tubo gotero quítese la tapa del frasco y fuércese un pin o aguja a través del centro de la junta de enchufe de metal delgado.
 - b) Para efectuar el ensayo, tómese un pedazo de papel parafinado y dóblesele a lo largo. Dóblense los extremos del papel, formando una especie de barquito. Con un cuchillo apropiado, colóquese una pequeña cantidad de suelo, igual aproximadamente a 3 gotas de solución de ensayo, en la mitad del papel.
 - c) Agréguense 8 a 10 gotas de la solución de indicador Soiltest. Agítese el papel hasta que el color del líquido permanezca constante más o menos durante medio minuto. Entonces, agítese el suelo de manera que el líquido se separe del sólido en el mismo papel. Compárese el color del líquido con la tabla de comparación de pH.
 - d) Si el líquido fuere muy turbio para hacer la lectura, debe esperarse que el residuo sólido se precipite. El líquido claro se puede derramar sobre otro pedazo de papel. Demasiado suelo aumenta la turbidez.
 - e) Las partículas del suelo resaltan el color amarillo de la solución. Hágase, por lo tanto, la lectura en el borde de la solución clara.
 - f) Los suelos que tengan fibras de humus deben separarse de la solución que esté en el papel.
 - g) El ensayo Soiltest es muy sensible y se debe tener mucho cuidado para lograr resultados exactos.

h) Los ensayos se hacen mejor en suelos húmedos, no en suelo cenagosos o plásticos, sino cuando son desmenuzables y aptos para el cultivo.

Papeles indicadores

26. Para la medición rápida de pH se usan papeles indicadores merck los cuales prácticamente abarcan la escala entera de los pH. Existe la posibilidad de determinar en la práctica con ayuda del papel indicador universal (pH 1 a 10) valores entre el pH 1 a 10 sin detalles, y con el papel indicador especial, ante todo en las gamas entre 3,8 y 10, valores más precisos. Los papeles indicadores merck y los papeles indicadores especiales merck son fáciles de operar y no requieren conocimientos especiales para su manejo.

27. Modo de empleo

Se prepara la muestra mezclando aproximadamente 5 g de suelo con suficiente agua para formar una pasta un poco por encima del límite líquido. Cuando el terreno está bien húmedo, no es necesario preparar la muestra sino operando directamente sobre el terreno que se va a ensayar. Se sumerge o se aplica la tira de papel indicador universal durante unos pocos segundos en la muestra que se va a ensayar.

28. Los líquidos viscosos o coloreados, así como las suspensiones, se gotean en el papel. Luego se compara el color del papel humedecido (tratándose de líquidos goteados con el dorso del papel), con la escala de colores. El color de la escala que más se aproxime a la coloración del papel humedecido, da directamente el pH aproximado de la muestra ensayada.

CAPÍTULO S0312 - EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS (ASTM D4546 AASHTO T258)

OBJETO

Este método se usa para determinar si un suelo es potencialmente expansivo, así como a los métodos para predecir la magnitud del hinchamiento que se pueda producir.

El potencial de expansión de un suelo puede determinarse mediante los límites de Atterberg y la succión natural del suelo.

Empleando los Métodos normales se determinan el Límite Líquido (LL) Índice de Plasticidad (IP) y la succión del Suelo (nat.) según la *AASHTO T-273.* Usando estas propiedades índice y con la ayuda de la Tabla S0312_1, se puede determinar cualitativamente el potencial expansivo del suelo.

TABLA S0312 1

Grado de Expansión	LL %	IP%	τ nat (Ton/pie2)
Elevado	> 60	> 35	>4
Marginal	50-60	25-35	1.5-4
Bajo	< 50	< 25	< 1.5

Mediante el aparato de expansión desarrollado por Lambe (Véase Figura S0312_1), puede medirse la presión de expansión desarrollada por el espécimen de suelo, después de 2 horas de inmersión, para predecir en forma preliminar su Potencial de Cambio Volumétrico (PCV), así:

PCV		Condición para	a el Suelo	
< 2	no crítica	2 - 4 crítica	a > 6	muy crítica

Puede también definirse el PCV, a partir del Índice de Plasticidad y del Límite de contracción de acuerdo con los valores de la Tabla Nº 2 según Holts y Gibs (1956).

TABLA S0312_2 LÍMITES DE CONSISTENCIA Y POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO (PCV)

PCV	IP		
PCV	Zona Seca	Zona Húmeda	LIM. CONTRATACION
Bajo	0-15	0-30	>12
Moderado	15-30	30-50	10-12
Alto	> 30	> 50	< 10

Finalmente, se puede obtener indicación del carácter expansivo del suelo, a partir de la expansión lineal medida en especímenes sumergidos para el ensayo de CBR.

DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DE LA EXPANSIÓN

La magnitud de la expansión que puede esperarse en una capa de suelo, se determina mediante uno de los métodos que se describen enseguida. Cuando se requiera una determinación más exacta, deberá efectuarse un ensayo de Expansión con Sobrecarga. Debido a lo prolongado del tiempo y a los costos requeridos para efectuarlo, podrá emplearse también un procedimiento empírico llamado el Método del potencial de levantamiento vertical.

ENSAYO DE EXPANSIÓN CON SOBRECARGA. PROCEDIMIENTO DE PREDICCIÓN

Método I

- 1. Prepárese una muestra inalterada para el ensayo de consolidación de acuerdo con el **Método 50407**, teniendo cuidado de evitar la pérdida de humedad durante su preparación. De los recortes de la muestra, determínese la humedad en el terreno y el peso específico del suelo.
- **2.** La humedad natural se determina como un porcentaje del peso del suelo secado al horno:

- **3.** Después de colocada la muestra en el consolidómetro, se le aplica una carga igual a la sobrecarga existente en el terreno, la cual deberá mantenerse hasta cuando el dial del extensómetro indique que ha cesado cualquier ajuste, por la carga aplicada.
- 4. Durante la aplicación de esta carga y durante el período de ajuste, debe tenerse cuidado de evitar el secamiento. Es extremadamente importante que no se pierda humedad en la muestra, lo cual puede lograrse cubriendo el consolidómetro con algodón húmedo. Este procedimiento de carga hace retornar la muestra, en cuanto es posible, a la relación de vacíos de campo, real y a la condición en el terreno, ya que la extrusión permite que las muestres inalteradas reboten inmediatamente en forma elástica.
- 5. Las condiciones reales en el terreno están definidas por el punto (1) de la Figura S0312_2. En seguida, se inunda la muestra y se le deja alcanzar equilibrio como se indicó anteriormente. Esta condición se define, entonces, con el punto (2) en la misma Figura. La muestra se descarga luego mediante las disminuciones de carga normalmente empleadas en el laboratorio, hasta la presión deseada, obteniéndose en esta forma una curva de expansión desde el punto (2) hasta el (3). A partir de este último punto, se prosigue con un ensayo normal de consolidación.
- **6.** Las curvas de carga-expansión forman aproximadamente líneas rectas en un gráfico semilogarítmico; la presión que no implica cambio de volumen, se determina entonces extrapolando las curvas de expansión entre los puntos 2 y 3, hasta intersectar la relación de vacíos en el terreno, representada por el punto (4). Esta se determina en la siguiente forma:

$$ef = \frac{Humedad en el campo x peso especifico}{porcentaje de saturacion}$$

Método II

- **7.** Se presenta este método porque puede ser necesario abreviar el trabajo; y la sobrecarga existente puede ser tan pequeña, que no tenga significado alguno obtener directamente curvas de expansión.
- 8. Este método puede emplearse únicamente después de ejecutados varios ensayos mediante el Método I y de verificar que la pendiente de la curva de rebote, sea secuencialmente la misma que la de expansión. El método II es igual al Método I hasta el punto en el cual se inunda la muestra y se registra la expansión total. En este punto, se prosigue con una secuencia de carga de consolidación normal con rebote, hasta obtener las curvas deseadas. Puesto que las pendientes de las curvas de expansión y rebote son esencialmente las mismas, puede obtenerse la curva de expansión haciendo pasar una curva a través del punto (2) de la Figura S0312_2, que sea paralela a la de rebote. La intersección de esta última con la relación de vacíos en el terreno, corresponde al punto para el cual no hay cambio de volumen, o de potencial máximo de presión de expansión.

CÁLCULOS

La magnitud de la expansión que puede esperarse en un estrato, se calcula de la siguiente manera:

La magnitud de la expansión que puede esperarse en una estrato, se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{\Delta e \ H}{1 + e_f}$$

Donde:

S = Expansión en cm (pulg.)

Δe = Diferencia de la relación de vacíos, a la presión de la sobrecarga (sin cambio de volumen) y la presión para la sobrecarga deseada.

H = Espesor de la capa en cm (pulg.)

e_f= Relación de vacíos en las condiciones de los esfuerzos existentes en el terreno.

PREDICCIÓN DEL POTENCIAL VERTICAL DE LEVANTAMIENTO (PVL)

- 9. Es necesario para este procedimiento conocer la humedad de cada muestra. Preferiblemente, esas muestras deben tomarse en el momento del muestreo o de núcleos que hayan sido sellados.
- **10.** Cuando se hayan tomado núcleos, el peso unitario húmedo se determina formando cilindros en los cuales se mide su altura y diámetro, con aproximación a 0,25 mm (0.01"), se pesan con aproximación a 0,5 g (0.001lb), verificando luego los cálculos necesarios. Cuando hayan sido tomados únicamente recortes durante el muestreo, úsese un peso unitario húmedo de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³), el cual es un valor medio razonable.
- **11.** A partir de porciones representativas de recortes o de núcleos, determínese el Límite Líquido, el Índice Plástico y el porcentaje de suelo ligante (pasa tamiz 425 μm o Nº. 40) en las capas de suelo.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

 $lb/pulg^2$)) x (1,07) + 2,6.

Anótense dichos resultados en la *Tabla S0312_4*, en la capa respectiva.

Comenzando con la capa superior en la superficie del terreno y a partir del registro de perforación (*Tabla S0312_3*) prepárese la *Tabla S0312_4*. Determínese si las capas se hallan en condición "húmeda", "seca" o en un estado intermedio.

12. Se ha encontrado que 0.2 LL + 9, es la condición seca a partir de la cual se produce poca contracción, pero a la cual el potencial de expansión volumétrica es mayor. Esta es la mínima humedad, hasta la cual generalmente se secan las arcillas expansivas.

La condición "húmeda", 0,47 LL + 2, corresponde a la absorción capilar máxima obtenida mediante ensayos de laboratorio sobre especímenes moldeados a la humedad óptima, y con sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²). Esta humedad, análoga a la hallada bajo pavimentos viejos y otras estructuras livianas, es la condición óptima.

Empleando la *Figura S0312_3* y considerando la condición húmeda, seca, o intermedia, con el IP de la primera capa, sígase verticalmente hasta la curva de expansión que corresponda y léase el porcentaje del cambio volumétrico en la ordenada. Este fue determinado para una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²).

13. Las curvas del potencial de levantamiento vertical (PLV) vs. Carga, de las *Figuras S0312_4 y S0312_5* son para arcillas que se expanden libremente, sin carga; y se basan en un peso unitario húmedo del suelo de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³). Para emplear estas curvas, se ha encontrado que bajo las condiciones dadas de expansión libre y del cambio volumétrico, bajo una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²) con base en la *Figura S0312_3*, existe la siguiente relación:

Porcentaje de cambio volumétrico sin carga = (Porcentaje de cambio volumétrico a 7 kPa (1

Ejemplo. De la **Figura S0312_3** la expansión para l lb/pulg 2 = 10. Porcentaje sin carga o expansión libre = 10 (1,07) + 2,6 = 10,7 + 2,6 = 13.3.

Estas curvas pueden ser marcadas con lápiz sobre las Figuras S0312_4 o S0312_5, para lecturas exactas.

- **14.** Para la condición óptima pueden considerarse igualmente válidas las relaciones siguientes, en la *Figura \$0312_3*.
 - a) Porcentaje de cambio volumétrico PCV, con sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²) = 0,217 (IP) 2,9.
 - b) Porcentaje de expansión libre = 0.232 (IP) 0.5.

 Para cálculos del Potencial de Levantamiento Vertical (PLV), es conveniente emplear capas de 0.6 m(2) en el supuesto de que las humedades y el registro de la perforación lo permitan. El empleo de capas de 0.6 m y el supuesto de que el peso unitario húmedo es de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³), el cual es generalmente un peso unitario razonable, hace más simple la tabulación. La modificación causada empleando el peso unitario anterior en lugar de 2333 kg/m³ (144 lb/pie³) para 7 kPa (1 lb/pulg²), por 0,3 m (pié), ha sido incorporada a las curvas de las *Figuras. S0312_4 y S0312_5*. Si varían los pesos unitarios a partir de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³) y se desea una precisión mayor, deberá aplicarse un factor de corrección a la capa, equivalente a 2025 kg/m³ (125 lb/pie³) dividido por el peso unitario húmedo real.

- **15.** Análogamente en la capa de 0,6 m, en la superficie, la carga promedia es 7 kPa (1 lb/pulg²); igualmente en la capa de 0,6 m a 1,2 m, la carga es de 14 kPa (2 lb/pulg²) para los 0,6 m superiores más la mitad de la capa de 0,6 m a 1,2 m; o de 21 kPa (3 lb/pulg²) en total. Por lo tanto, la carga promedio en cualquier capa de 0,6 m (2¹), es la profundidad media de la capa. Empleando la columna para el material que pasa tamiz de 425 μm (Nº. 40), el PLV posteriormente determinado, deberá modificarse así:
 - a) Úsese la expansión de cero cuando el porcentaje que pasa tamiz 425 μ m (Nº. 40), sea menor del 25%
 - b) Multiplíquese la expansión obtenida para la capa, por el porcentaje que pasa tamiz 425 μm (Nº. 40), cuando el porcentaje exceda del 25%. Empleando la Figura S0312_3, determínese el porcentaje de expansión volumétrica en la primera capa de 0 0,6 m (0-2'). Puesto que esta expansión es determinada empleando una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²), deberá modificársela por expansión libre, o sea sin sobrecarga, como se anota en el numeral 11. Empleando las Figuras S0312_4 y S0312_5, y la curva de porcentaje de expansión libre, acabada de determinar, comiéncese a registrar la expansión en la capa.
 - a) En la capa de 0 a0.6 m, léase la ordenada (PLV) para la carga de 7 kPa (1 lb/pulg²) de la curva de expansión, y anótese en la Tabla S0312_ 4 como "fondo de la capa".
 - b) A partir de la curva, léase la carga de 0 en la parte superior de esta capa y anótese en la Tabla S0312_4.
 - c) La diferencia entre estas dos lecturas, es el PLV en la primera capa de 0,6 m, sujeta a la corrección por peso unitario (véase numeral 14.b) y por suelo ligante (pasa tamiz 425 μm o №. 40), a que se refiere el numeral 11.

Tómese la capa de 0.6 a1.2 m y determínese el porcentaje de cambio volumétrico, modificándolo con el valor determinado en la Figura S0312_3. Sobre esta curva de porcentaje de expansión volumétrica, o sobre un esquema dibujado a lápiz, donde la línea no quede realmente sobre las Figuras S0312_4 y S0312_5, léase el PLV en la ordenada correspondiente a 21 kPa (3 lb/pulg²) (fondo de la capa) y anótese en la Tabla S0312_4. Léase en la misma curva la ordenada correspondiente a 7 kPa (1 lb/pulg²) (parte superior de la capa) y anótese. La diferencia entre las dos lecturas, es la expansión en la capa entre 0.6 y 1.2 m, sometida a modificaciones por peso unitario o suelo ligante (pasa tamiz de 420 µm (N° . 40)).

Continúense las determinaciones del PLV en cada capa de 0.6 m, hasta cuando cada capa expansiva haya sido contrabalanceada como lo indica la nivelación horizontal de las curvas de las Figuras S0312_4 y S0312_5, lo que significa que no hay diferencia cuando se lee el PLV de estas curvas. (Realmente la expansión es despreciable o nula en cualquier punto más allá del extremo de cualquier curva dada, como se muestra en estas dos Figuras). Pueden emplearse capas más gruesas para el cálculo, cuando consistan de suelo uniforme con IP y contenidos similares de humedad.

Compruébese el factor de corrección debido al suelo ligante y al peso unitario para cada capa.

Súmense los PLV en la totalidad de todas las capas, para obtener el PLV total para el sitio.

16. La Tabla S0312_4 ha sido calculada sin considerar cargas debidas a una estructura. Cuando éstas se conozcan, simplemente se agregan en la columna de "carga promedio", kPa (lb/pulg²) y se aumenta cada cifra en la columna, por el incremento de la carga unitaria de la estructura, pero nótese que se reducirá la expansión por causa del aumento de la carga.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

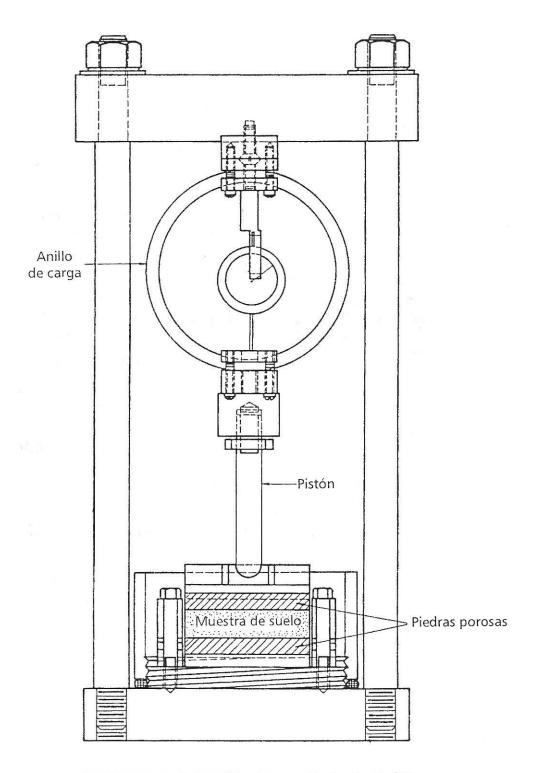
Para informar los resultados del ensayo, remítase una copia de la **Tabla S0312_3** con la identificación de la obra y de su ubicación.

17. Frecuentemente, durante el diseño, es necesario estimar el PLV sin conocer las humedades esperadas durante la construcción. En tales casos, el diseño y planeamiento de una obra deberán influir en la escogencia de la línea de la *Figura S0312_3*, que se va a emplear. Si se trata de un clima entre árido y semiárido y los planos y especificaciones no prevén control de la humedadpeso unitario, ni preservación de la humedad, se sugiere emplear la línea para 0.2 LL + 9, pero podrá también emplearse la línea promedia.

Si los planos y especificaciones exigen control del peso unitario y de la humedad, y el mantenimiento de ésta, podrá emplearse la línea promedio.

En las regiones de precipitación alta, podrá utilizarse la línea promedio, cuando se contemple la conservación de la humedad; pero si además, se prevé control de la humedad-peso unitario, podrá emplearse, la línea inferior (0.47 LL + 2) de la *Figura \$0312_3*.

La expresión "mantenimiento de la humedad", se refiere al empleo de tramos recubiertos con capas y con banquinas amplias de material granular, suelos estabilizados, o membranas asfálticas donde se apliquen con este objeto.



Aparato para medir la presión de expansión (según Lambe).

FIGURA S0312_1 APARATO PARA MEDIR LA PRESIÓN SEGÚN LAMBE

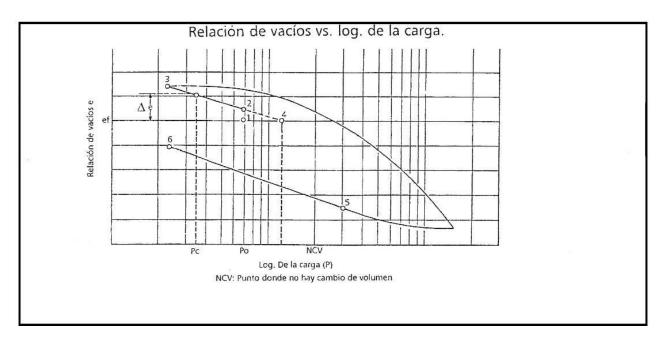


FIGURA S0312_2 RELACIÓN DE VACÍOS VS LOG DE LA CARGA

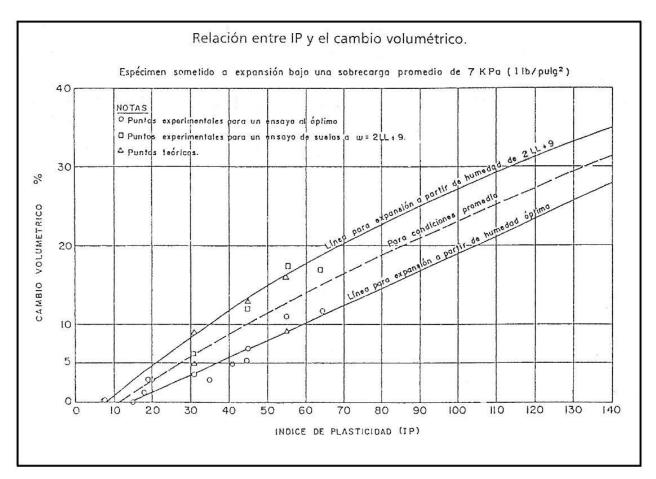


FIGURA S0312_3 RELACIÓN ENTRE EL IP Y EL CAMBIO VOLUMÉTRICO

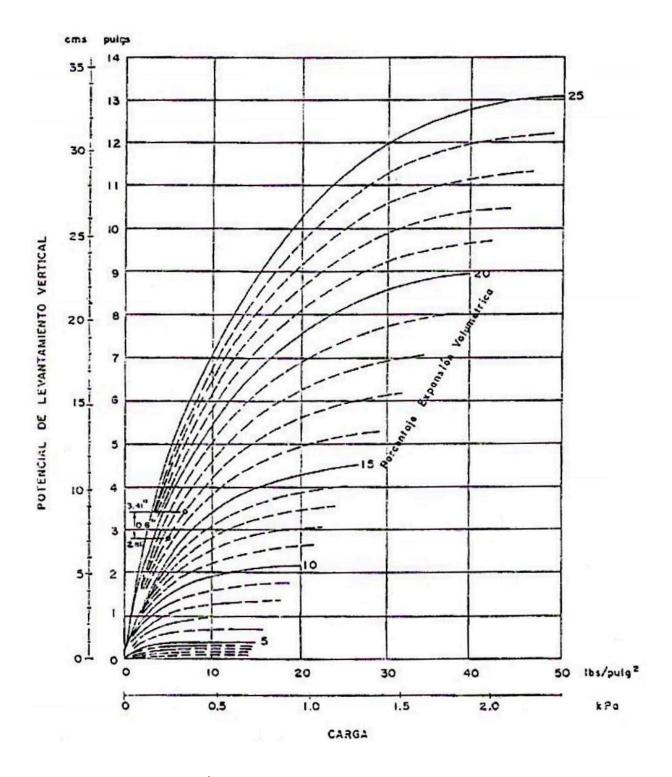


FIGURA \$0312_4 GRÁFICO DE POTENCIAL DE LEVANTAMIENTO VERTICAL VS CARGA

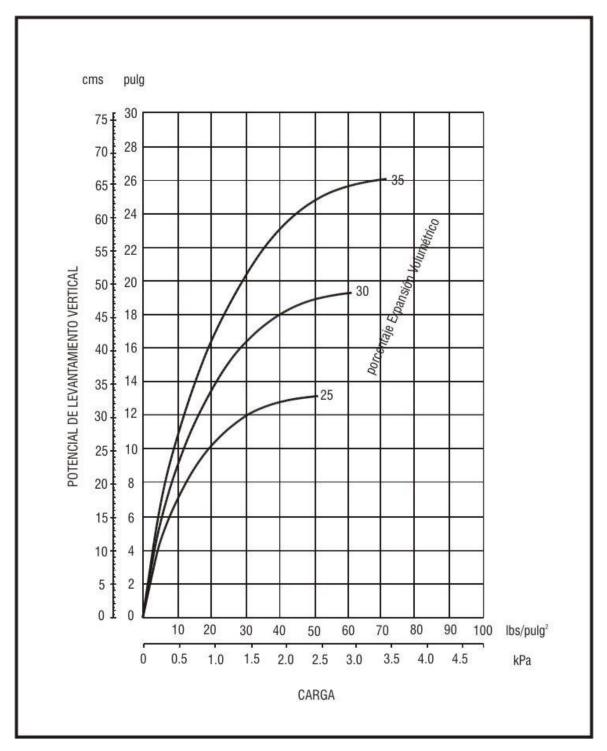


FIGURA S0312_5 GRÁFICO DE POTENCIAL DE LEVANTAMIENTO VERTICAL VS CARGA

CAPÍTULO SO4 ENSAYOS RELACIONADOS A LA COMPACTACIÓN Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS

CAPÍTULO S0401. ENSAYO DE COMPACTACIÓN CONSIDERANDO FAMILIAS DE CURVAS MÉTODO DE UN PUNTO (AASHTO T272)

OBJETO

Este método de ensayo se emplea para la determinación rápida del peso unitario máximo y de la humedad óptima de una muestra de suelo empleando una familia de curvas y un punto.

Las determinaciones de los puntos sencillos se efectúan compactando el suelo dentro de un molde de un tamaño dado, con un martillo de 2,5 kg (5.5 lb) que se deja caer desde una altura de 305 mm (12"). Se dispone de cuatro procedimientos alternos en la siguiente forma:

Método A

Molde de diámetro 102 mm (4"), suelo que pasa tamiz de 4,75 mm (No. 4).

Método B

- Molde de diámetro 152 mm (6"), suelo que pasa tamiz de 4,75 mm (No.4).

Método C

- Molde de diámetro 102 mm (4"); suelo que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4").

Método D

Molde de diámetro 152 mm (6"); suelo que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4").

Los métodos aquí descritos corresponden al **Método S0402** y deberán seleccionarse en correspondencia con aquel, esto es, cuando se empleen las relaciones de humedad-peso unitario, determinadas mediante el Método C de dicho método para formar la familia de curvas, entonces el Método C descrito en ésta deberá emplearse para la determinación del punto sencillo.

A través de estos métodos de ensayo se hace referencia directa el **Método S0402** y la mayor parte de la terminología, aparatos y procedimientos son los mismos.

Adicionalmente, los conceptos descritos aquí, son aplicables a las determinaciones de un solo punto y a las relaciones de humedad-peso unitario especificadas en el *Método S0403*, cuando se emplean los aparatos y métodos apropiados.

DEFINICIONES

Una familia de curvas es un grupo de relaciones típicas de humedad-pesounitario, determinadas empleando el *Método S0305*, que revelan ciertas similaridades y tendencias características del tipo y de la procedencia del suelo. Cuando son muestreados de una misma cantera, los suelos tendrán muchas curvas diferentes de humedad-peso unitario; pero si un

grupo de tales curvas se dibuja sobre las mismas escalas, generalmente se hacen claras las relaciones entre ellas. Se encontrará, en general, que los pesos unitarios más altos del suelo, presentarán curvas con pendientes más pronunciadas, para pesos unitarios secos máximos con contenidos óptimos de humedad más bajos; mientras que los pesos unitarios más bajos suponen curvas más planas y suavemente curvadas con contenidos de humedad óptimos mayores.

Un ejemplo de estas curvas se presenta en la *Figura S0401_1*.

EQUIPOS Y MATERIALES

Véase el punto "Equipos y materiales" del capítulo 50402.

METODO A

Muestra

Véase el punto "Extracción y preparación de la muestra" del capítulo todo **S0402.**

Procedimiento

- 1. Mézclese completamente la muestra representativa escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta obtener 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido de humedad óptimo. Se obtendrá una mayor precisión en la determinación del peso unitario máximo, a medida que la humedad se aproxime al contenido de agua óptimo. El contenido de agua de la muestra nunca deberá exceder al óptimo.
- 2. Fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de diámetro 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado) en tres capas aproximadamente iguales, que proporcionen una profundidad total compactada de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes uniformemente distribuidos, del martillo con caída libre de 305 mm (12") de altura por encima del suelo cuando se emplee un martillo con guía; o de 305 mm (12") por encima de la altura del suelo compactado cuando se emplee un martillo estacionario operado mecánicamente. Durante la compactación, el molde deberá mantenerse firmemente sobre una base uniforme densa, rígida y estable.-Las siguientes bases son satisfactorias para que descanse el molde durante el ensayo de compactación: un bloque de concreto que pese más de 91 kg (200 lb) soportado por una fundación relativamente estable; un piso sano de concreto; y para su aplicación en el terreno, superficies como las que se encuentran en alcantarillas de concreto, puentes y pavimentos.

Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente el suelo desigual compactado con respecto a la parte superior de éste mediante una regla con filo, y pésese el molde y el suelo húmedo en kg con aproximación a 5 g (o en lb con aproximación a 0.01 lb). Para moldes que cumplen con la tolerancia del numerales 1, 2 y 3 (Método S0402) y cuyos pesos se registren en libras, multiplíquese el peso del suelo compactado y del molde, menos el peso del molde, por 30, y regístrese el resultado como peso unitario húmedo, 1, en lb/pie3 de suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se registran en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde menos el peso del molde, por 1059,43 y regístrese el resultado como el peso húmedo, 1, en kg/m³ del suelo compactado. Para moldes usados que no cumplan con la tolerancia del 50%, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

3. Remuévase el material del molde y córtese verticalmente a través del centro. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras de corte, pésese inmediatamente y séquese en un horno a 110 ± 5°C (230 ± 9°F), por lo menos durante 12 horas o hasta peso constante, para determinar el contenido de humedad. La muestra no deberá pesar menos de 100 gramos.

METODO B

Muestra

4. Véase el punto "Extracción y preparación de la muestra" del *Método S0402*.

Procedimiento

5. Sígase el mismo procedimiento descrito para el método A en el punto "Extracción y preparación de la muestra", excepto en lo siguiente: fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 152 mm diámetro (6") (con el collar ajustado), en tres capas aproximadamente iguales, que den una altura total compactada de alrededor de 125 mm (5"), compactando cada capa mediante 56 golpes de martillo uniformemente distribuidos. Para moldes que cumplan con las tolerancias del numerales 1, 2 y 3 del *Método S0402* y cuyos pesos se registren en libras, multiplíquense el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 13,33 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo 1, en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se registran en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 470,74 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, 1, en kg/m³, del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50% (numerales 1, 2 y3), hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

METODO C

Muestra

- **6.** Si la muestra del suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, séquese hasta que se pueda desmoronar con un palustre. El secamiento puede ser al aire o mediante el empleo de aparatos de secamiento, mientras que la temperatura no exceda de 60°C (140°F). Disgréguense perfectamente los terrones, pero sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
- 7. Tamícese una cantidad apropiada representativa del suelo pulverizado, sobre el tamiz de 19,0 mm (3/4"), y deséchese el material grueso, retenido en dicho tamiz, si lo hubiere.

 -Es aconsejable mantener el mismo porcentaje de material grueso [(pasa tamiz de 50 mm (2") retenido sobre tamiz de 4,75 mm (No.4)], en la muestra para humedad-peso- unitario, que en la muestra de terreno original. El material retenido sobre el tamiz de 19,0 mm (3/4"), debe reemplazarse en la siguiente forma: tamícese una cantidad apropiada de suelo representativo pulverizado sobre los tamices de 50 mm (2") y de 19,0 mm (3/4"). Pésese el material que pasa el tamiz de 50 mm (2") y queda retenido en el de 19 mm (3/4"), y reemplácese con un peso igual de material, que pase este último tamiz y que quede retenido en el de 4,75 mm (No.4). Tómese el material para el reemplazo de la porción remanente de la muestra.
- **8.** Escójase una muestra representativa que tenga un peso de aproximadamente 5 kg (12 lb) o más, de suelo preparado como se describió en los numerales 6 y 7.

Procedimiento

- **9.** Mézclese completamente la muestra de suelo representativa escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta aproximadamente 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido óptimo de agua. Se traducirá en una precisión mayor la determinación del peso unitario, a medida que el contenido de humedad empleado se aproxime a la humedad óptima.
- 10. Fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado), en tres capas aproximadamente iguales que proporcionen una altura total compactada de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa, mediante 25 golpes uniformemente distribuidos del martillo con caída libre de 305 mm (12"), por encima de la altura del suelo (cuando se emplea un martillo con guía), o desde 305 mm (12") por encima de altura aproximada de cada capa finalmente compactada, cuando se emplea un martillo estacionario operado mecánicamente. Durante la compactación, el molde deberá permanecer firmemente sobre una base sólida, uniforme, rígida y estable.
 - -Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente la superficie superior desigual del suelo compactado, usando la regla con filo. Los huecos formados en la superficie por remoción del material grueso, deberán llenarse con material de tamaño más pequeño.

Pésese el molde y el suelo húmedo, en libras con aproximación a 0.01 lb, o en kilogramos con aproximación a 5g. Para moldes que cumplan con la tolerancia del numerales 1, 2 y 3 y cuyos pesos estén registrados en libras, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde menos el peso del molde por 30, y anótese el resultado, como peso unitario húmedo, 1 en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se registran en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde por 1059,43 y anótese el resultado como peso unitario húmedo, 1, en kg/m³ de suelo compactado. Para moldes usados que no cumplen con la tolerancia del 50% (numerales 1, 2 y 3), hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

11. Remuévase el material del molde y córtese verticalmente a través del centro. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras de corte, pésese inmediatamente y séquese hasta peso constante empleando un horno para secamiento. La muestra para ésta última no deberá ser de menor de 500 gramos.

METODO D

Muestra

12. Escójase la muestra representativa de acuerdo con el numeral 8, excepto en que deberá tener un peso de aproximadamente 11 kg (25 lb).

Procedimiento

13. Sígase el procedimiento descrito para el Método C, en el "Procedimiento" del Método B excepto en lo siguiente:

Fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 152 mm (6") de diámetro (con el collar ajustado) en tres capas aproximadamente iguales, para proporcionar una altura total compactada de alrededor de 127 mm (5"), compactándose cada capa mediante 56 golpes del martillo, uniformemente distribuidos.

Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numerales 1, 2 y 3 de el *Método S0402* y con pesos registrados en libras, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 13,33 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, 1, en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se dan en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 470,4 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo,1, en kg/m³, del suelo compactado. Para moldes usados que no cumplen con la tolerancia del 50% (numerales 1, 2 y 3), hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

14. Véase el punto "Cálculos" del *Método S0402*.

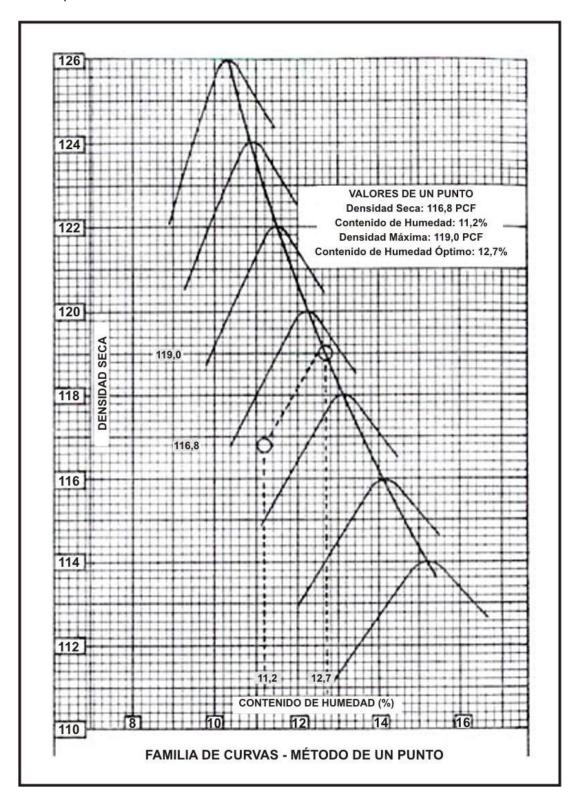


FIGURA S0401_1 FAMILIA DE CURVAS, MÉTODO DE UN PUNTO

CAPÍTULO S0402 - RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN SUELOS – MÉTODO ESTÁNDAR (ASTM D698 AASHTO T99)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 2,5 Kg. en caída libre desde una altura de 305 mm, con una energía específica de compactación de 0,59 J/cm³ (6 kgf cm/cm³). En los suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12 % de partículas menores que 0,075mm (Nº 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método para Determinar la Densidad Relativa en Suelos No Cohesivos que explicará más adelante.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- a) Método A molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (Nº 4).
- b) Método B molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (Nº 4).
- c) Método C molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").
- d) Método D molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones, según el material por ensayar. Si no se especifica, debe regirse por las indicaciones del método A.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Moldes Metálicos

Deben ser de forma cilíndrica que pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe contar con un collar separable de aproximadamente 60 mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Optativamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican.

2. Molde de 100 mm de Diámetro Nominal

Debe tener una capacidad (V) de 0,944 \pm 0,008 l, un diámetro interno de 101,6 \pm 0,4 mm y altura de 116,4 \pm 0,1mm (Ver Figura S0402_1).

3. Molde de 150 mm de Diámetro Nominal

Debe tener con una capacidad (V) de $2,124 \pm 0,021$ l, un diámetro interno de $152,4 \pm 0,7$ mm y altura de $116,4 \pm 0,1$ mm (Ver Figura S0402_2).

4. Pisón Metálico

Debe tener una cara circular de 50 ± 0.2 mm de diámetro y una masa de 2500 ± 10 g. Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída a 305 ± 2 mm. La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10mm ubicadas a 20mm de cada extremo, separadas en 90° entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

Nota 1: Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo, de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.

5. Probetas Graduadas

Una de 500 cm³ de capacidad, graduada a 5 cm³ y otra de 250 cm³ de capacidad, graduada a 2.5 cm³.

6. Balanzas

Una de 10Kg. de capacidad y precisión de 5g y otra de 1Kg. de capacidad y 0,1g de precisión.

7. Horno

La temperatura debe poder regularse y contar con circulación de aire.

8. Regla de Acero

De 300mm de largo y con un canto biselado.

9. Tamices

Tamices tejidos de alambre de abertura cuadrada que cumplan con el *Método S0302*, de 50 mm (2"), 19 mm (3/4") y 4,75 mm (\mathbb{N}^2 4) de abertura nominal.

10. Herramientas

Herramientas y paila para mezclar, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

CALIBRACIÓN DEL MOLDE

- 11. Pese y registre la masa del molde vacío sin collar (mm), aproximando a 1 g.
- 12. Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:
 - a) Coloque glicerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
 - b) Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal.
 - c) Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
 - d) Determine la masa de agua que llena el molde (mw), aproximando a 1 g.
 - e) Mida la temperatura del agua y determine su densidad (w) de acuerdo con la *Tabla \$0402_1*, interpolando si fuere necesario.

TABLA S0403_1 DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN TEMPERATURA

Temperatura	Densidad
°C	(Kg./m³) ó (g/l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

13. Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm³ (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad: V = mw/w.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras

Obtenga las muestras de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o según lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

Preparación de las muestras

- **14.** Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C hasta que se vuelva desmenuzable; disgregue entonces los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- **15.** Pase por el tamiz de 4,75 mm (№ 4) para los métodos A y B y por el tamiz de 19 mm (3/4") para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.

Nota 2: Si en el método D (molde de150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4)) del material original, proceda como sigue: Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 19 mm (3/4").

Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en 4,75 mm (Nº 4), tomado de la porción no utilizada del material original.

Tamaño de la muestra de ensaye

Del material preparado según 5, obtenga un tamaño de muestra de ensaye de acuerdo con la *Tabla \$0402_2*.

TABLA S0402_1 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Dimensión Del Molde (mm)	Método	Masa Mínima De la muestra (g)	Masa aproximada de fracción De muestra para cada determinación (g)
100	AyC	15.000	3.000
150	ByD	30.000	6.000

Acondicionamiento de la muestra de ensaye

- **16.** Homogeneicé el material de la muestra de ensaye y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la *Tabla \$0402_2*.
- **17.** Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y se distribuyan en las proximidades de la humedad óptima (wo).
- **18.** Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

Nota 3: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de plasticidad media bastará con 3 h y en los de plasticidad nula, con 30 min.

PROCEDIMIENTO

- **19.** Coloque el molde con su collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 Kg. o más).
- **20.** Llene el molde con una capa de las fracciones de muestra como sigue:
 - a) Coloque una capa de material de aproximadamente un tercio de la altura del molde más el collar.
 - b) Compacte la capa con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (Métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (Métodos B y D).
 - c) Repita dos veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
- **21.** Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Retape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.
- **22.** Pese el molde con el suelo compactado. Reste la masa del molde, determinando la masa de suelo compactado que llena el molde (m); registre aproximando a 1 g.
- **23.** Determine la densidad húmeda del suelo compactado (h) dividiendo la masa del suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica de él.

$$\rho_h = \frac{m}{v}$$

- 24. Registre aproximando a 10 Kg./m3.
- **25.** Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones de humedad de acuerdo con el Método para Determinar el Contenido de Humedad. Registre el promedio de ambas determinaciones como humedad del suelo compactado (w).
- **26.** Repita las operaciones 19 a 24 con cada una de las fracciones restantes hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensave se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

CÁLCULOS

Densidad Seca

27. Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 Kg./m³.

$$\rho_d = \frac{100 \, \rho_h}{w + 100}$$

Donde:

ρ_d : Densidad seca del suelo compactado (Kg./m³) ρ_h : Densidad húmeda del suelo compactado (Kg./m³)

w: Humedad del suelo compactado (%).

Relación Humedad/Densidad

28. Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas.

- **Nota 4**: Se recomienda incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método para Determinar la Densidad de Partículas Sólidas.
- **29.** Registre puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.
- 30. Exprese la humedad óptima (wo) como la correspondiente al punto máximo de la curva.
- **31.** Exprese la densidad seca máxima (pd máx.) como la correspondiente a la humedad óptima.

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado (normal A, B, C o D).
- b) Humedad óptima.
- c) Densidad seca máxima.
- d) En los métodos C y D indique el porcentaje de material retenido en 20 mm y su descarte o reemplazo.
- e) Cualquier información específica respecto al ensaye o al suelo en estudio.
- f) La referencia a este Método.

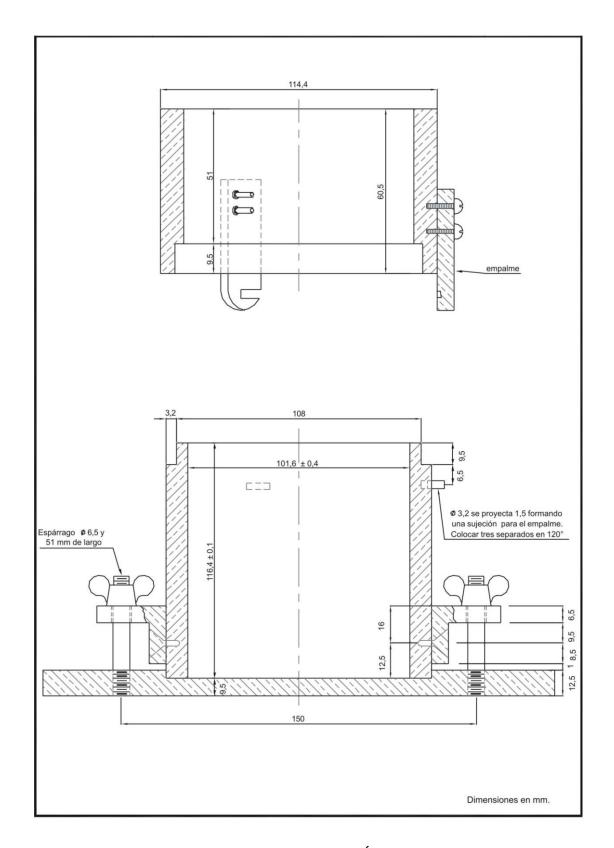


FIGURA S0402_1 MOLDE 100MM DE DIÁMETRO NOMINAL

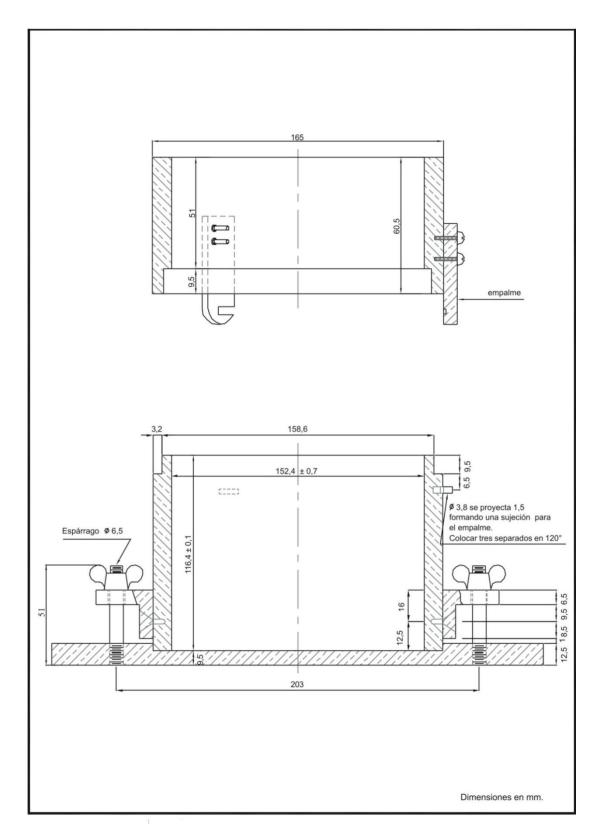


FIGURA S0402_2 MOLDE 150MM DE DIÁMETRO

Proyecto					Traba	ajo No.			
Proyecto Localización del	proyecto				Perfc	ración	No	Muestra	a No
Descripción del s	suelo								
Realizado por					Fech	a de la	practica	(
Golpes/Capa			No. D	e Capas			Pes	so de mart	illo l
Dimensiones del	molde: Diam	1		_cm Altu	ra		_cm Vol.		cm
Determinación de	el contenido e	de hι	umedad	į					
Muestra No.			1	2	3	3	4	5	6
Lata de humedad			$\perp \perp \perp$		\perp				
Peso de lata + su									
Peso de lata + su	uelo sueco		1			\Box			
Peso del agua					1	\sqcup			
Peso de la lata									
Peso del suelo se						\longrightarrow			
Contenido de hui	medad, w%							\bot	
Contenido de hui Peso de suelo + Peso del molde Peso del suelo si Densidad húmed Densidad seca, k	molde eco en molde la, kN/m³	2, g							
Densidad seca, kN/m³									
			Conte	enido de l	numed	ad, w%	6		

FIGURA \$0402_3 FORMULARIO TIPO

CAPÍTULO S0403 - RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN LOS SUELOS – MÉTODO MODIFICADO (ASTM D422 AASHTO T180)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 Kg. en caída libre, desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de 2,67 J/cm³ (27,2 kgf cm/cm³). En suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12% de partículas menores que 0,08 mm (ASTM N° 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método para Determinar la Densidad Relativa en Suelos No Cohesivos.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- a) Método A molde de 100mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 4,7 5mm (№ 4).
- b) Método B molde de 150mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (Nº 4).
- c) Método C molde de 100mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").
- d) Método D molde de 150mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones para el material que debe ensayarse. Si no se especifica debe regirse por las indicaciones del método D.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Moldes Metálicos

Deben tener forma cilíndrica; pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe tener un collar separable de aproximadamente 60mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Optativamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican:

- a) Molde de 100mm de diámetro nominal, con capacidad (V) de 0,944 \pm 0,008 l, un diámetro interno de 101,6 \pm 0,4mm y altura de 116,4 \pm 0,1mm (Figura S0403_1).
- b) Molde de 150mm de diámetro nominal, con capacidad (V) de 2,124 \pm 0,021 l, un diámetro interno de 152,4 \pm 0,7mm y altura de 116,4 \pm 0,1mm (*Figura \$0403_2*).

2. Pisón Metálico

Debe tener una cara circular de 50 ± 0.2 mm de diámetro y una masa de 4.500 ± 10 g. Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída de 460 ± 2 mm.

La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10 mm ubicadas a 20 mm de cada extremo, separadas en 90° entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

Nota 1: Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.

3. Probetas Graduadas

Una de 500 cm³ de capacidad, graduada a 5 cm³ y otra de 250 cm³ de capacidad, graduada a 2,5 cm³.

4. Balanzas

Una de 10Kg. de capacidad y una precisión de 5 g y otra de 1 Kg. de capacidad y una precisión de 0,1g.

5. Horno

De temperatura regulable y circulación de aire.

6. Regla de Acero

De 300mm de largo y con un canto biselado.

7. Tamices

Tejidos de alambre, de abertura cuadrada de 50 mm (2"), 19 mm (3/4") y 4,75 mm (№ 4) de abertura nominal.

8. Herramientas

Herramientas y paila para mezclado, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

CALIBRACIÓN DEL MOLDE

9. Pese y registre la masa del molde vacío sin collar (mm), aproximando a 1 g.

- 10. Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:
 - a) Coloque glerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
 - b) Coloque el molde sobre una base firme, plana y horizontal.
 - c) Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua;
 - d) Determine la masa de agua que llena el molde (mw) aproximando a 1 g.
 - e) Mida la temperatura del agua y determine su densidad (w) de acuerdo con la Tabla S0403_1, interpolando si fuere necesario.

TABLA S0403_1 DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN TEMPERATURA

Temperatura	Densidad
°C	(Kg/m³) (g/l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

11. Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm³ (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad: V = mw/ w.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras

12. Las muestras se deben obtener de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

Preparación de Muestras

- **13.** Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C, hasta que se vuelva desmenuzable. Disgregue luego los terrones, evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- **14.** Pase por el tamiz de 4,75 mm (№ 4) para los métodos A y B y por el tamiz de 19 mm (3/4") para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.
 - **Nota 2**: Si en el método D (molde de 150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº4)) del material original, proceda como sigue:
- **15.** Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4");
- **16.** Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4") y es retenido en 4,75 mm (Nº4), tomada de la porción no utilizada del material original.

Tamaño de la muestra de ensayo

Del material preparado según descripción anterior, obtenga un tamaño de muestra de ensaye de acuerdo con la *Tabla S0403_2*

TABLA S0403_2 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Dimensión Del Molde (mm)	Método	Masa Mínima De la muestra (q)	Masa aproximada de fracción De muestra para cada determinación (g)
100	AyC	15.000	3.000
150	ByD	30.000	6.000

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

- **17.** Homogenice el material de la muestra de ensaye y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la Tabla S0403_2.
- **18.** Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y que se distribuyan próximas a la humedad óptima (wo).

19. Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

Nota 3: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de plasticidad media bastará con 3 h. y en los de plasticidad nula con 30 min.

PROCEDIMIENTO

- **20.** Coloque el molde con su collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 Kg. o más).
- **21.** Llene el molde con una de las fracciones de muestra como sigue:
 - a) Coloque una capa de material de aproximadamente un quinto de la altura del molde más el collar.
 - b) Compacte la capa con 25 golpes de pisón, uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (Métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (métodos B y D).
 - c) Repita cuatro veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
- **22.** Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Tape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.
- **23.** Pese el molde con el suelo compactado. Reste la masa del molde para determinar la masa de suelo compactado que llena el molde (m). Registre, aproximando a 1 g.
- **24.** Determine la densidad húmeda del suelo compactado (h) dividiendo la masa de suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica del molde:

$$P_n = \frac{m}{v}$$

Registre aproximando a 10 Kg/m³.

- **25.** Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones como humedad del suelo compactado (w).
- **26.** Repita las operaciones del 20 al 25 con cada una de las fracciones restantes, hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensaye se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

CÁLCULOS

27. Densidad Seca

Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 Kg/m³.

pd : Densidad seca del suelo compactado (Kg./m³) ph : Densidad húmeda del suelo compactado (Kg./m³)

w: Humedad del suelo compactado (%).

28. Relación Humedad - Densidad

a) Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas.

Nota 4: Se recomienda incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método para Determinar la Densidad de Partículas Sólidas.

- b) Registre los puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.
- c) Exprese la humedad óptima (wo) como la correspondiente al punto máximo de la curva.
- d) Exprese la densidad seca máxima (d máx.) como la correspondiente a la humedad óptima.

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado (modificado A, B C o D).
- b) Humedad óptima.
- c) Densidad seca máxima.
- d) En métodos C y D, indicar el % de material retenido en 20 mm y su descarte o reemplazo.
- e) Cualquier información específica respecto al ensaye o al suelo en estudio.
- f) La referencia a este método.

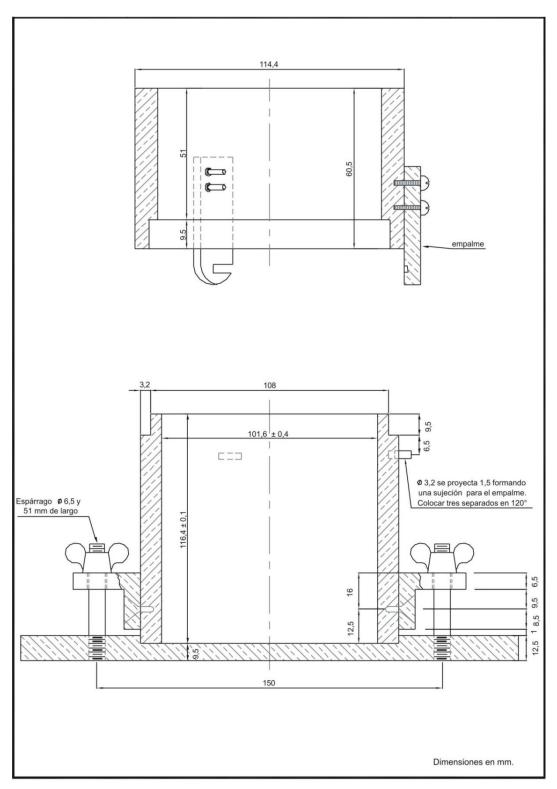


FIGURA S0403_1 MOLDE 100MM DE DIÁMETRO NOMINAL

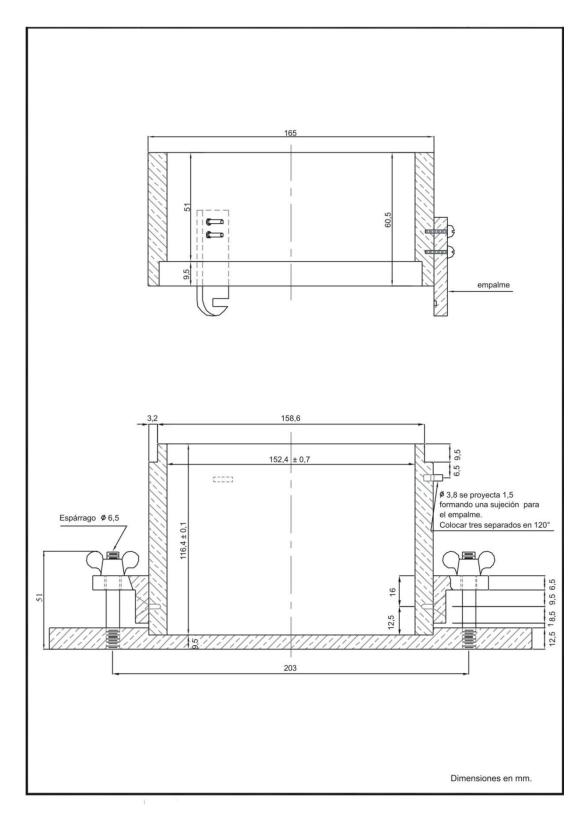


FIGURA S0403_2 MOLDE 150MM DE DIÁMETRO

Provecto				Traba	ajo No.			
Proyecto Localización del proyecto				— Perfo	ración	No.	Muestra N	lo.
Descripción del suelo								
Realizado por				Fech	a de la	practica		
Golpes/Capa		No F	De Capas			Peso	de martillo	N
Dimensiones del molde: Di	am	_ 110. 2	cm Altı	ıra		cm Vol	de marane.	
Difficilisiones del filolde. Di	um			ara		_0111		
Determinación del contenio	lo de hi	umedad	d					
Muestra No.		1	2	3	3	4	5	6
Lata de humedad No.								
Peso de lata + suelo								
Peso de lata + suelo sueco								
Peso del agua								
Peso de la lata								
Peso del suelo seco								
Contenido de humedad, wo	%							
Determinación de la densic								1
Contenido de humedad des								+
Contenido de humedad, w	/0							-
Peso de suelo + molde Peso del molde							-	3
Peso del suelo seco en mo	ldo a							1
Densidad húmeda, kN/m³	ide, g		7			1	+	+
Densidad seca, kN/m³	9							1
Demoidad ooda, ili viii								
								_
							1	+
e								
w/,								
₹		-	-		_			_
, Ga								
8								
Densidad seca, KN/m³								
is i								
□ □		1						_
+ +			-					+
								-
		Cont	enido de	humed	ad, w%)		

FIGURA S0403_3 FORMULARIO TIPO

CAPÍTULO S0404. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) (ASTM D1883 AASHTO T193)

OBJETO

a) Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Nota 1: La denominación CBR se deriva de "California Bearing Ratio".

- b) Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.
- c) No obstante que originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo 3/4" (19 mm), el ensayo es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad limitada de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4").

Nota 2: Cuando el tamaño máximo absoluto del material en estudio sea superior a 19 mm (3/4"), el peso retenido en este tamiz se reemplazará por uno equivalente de material de la misma muestra que pasa por 19 mm (3/4") y es retenido en 4,75 mm (N^{o} 4).

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Prensa de Ensaye

Está conformada por un marco de carga con una capacidad mínima de 44,5 kN (10.000 lbf) y una gata mecánica capaz de desplazar una base metálica rígida a una velocidad uniforme y sin pulsaciones, de 1,27 mm/min., contra el pistón de penetración. Este último debe estar equipado con un dispositivo indicador de carga de una capacidad mínima de 26,7 kN (6.000 lbf), que permita registrar lecturas con una precisión mínima de 50 N. El pistón debe llevar, además, sujeto a él, un dial de penetración graduado en milésimas de pulgada (0,025 mm).

Nota 3: Para bajos valores de CBR (inferiores a 5%), se recomienda el uso de dispositivos indicadores de carga con precisión mínima de 30 N.

2. Moldes

Metálicos, cilíndricos, con un diámetro interno de $152,4 \pm 0,7$ mm y una altura de $177,8 \pm 0,5$ mm.

Deben tener un collar de extensión metálico de 50,8 mm de altura y una placa base metálica de 9,5mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm.

3. Disco Espaciador

Metálico, cilíndrico, con un diámetro de 150,8 ± 0,8 mm y una altura de 61,4 ±0,2 mm.

4. Pisón

Debe cumplir con lo especificado en la Tabla S0404_1.

TABLA S0404 CARACTERÍSTICAS DEL PISÓN A USAR

			Pisón				
Ensayo	Masa	Altura de caída	Volumen del molde	Capas	Golpes por capa		
Método del martillo de 2,5 kg	2,5 kg	300 mm	1.000 cm ³	3	27		
Método del martillo de 4,5 kg	4,5 kg	450 mm	1.000 cm ³	5	27		
Proctor (estándar)	2,49 kg (5,5 lbs)	305 mm (12 pulg)	944 cm ³ (1/30 pie ³)	3	25		
Proctor (modificado)	4,49 kg (10 lbs)	457 mm (18 pulg)	944 cm ³ (1/30 pie ³)	5	25		
Método del martillo vibratorio		Se utiliza un molde CBR para compactar una muestra de aproximadamente 2.360 cm³ de volumen mediante el uso de un martillo vibratorio; el suelo se compacta en tres capas iguales mediante 60 segundos de vibración.					

5. Aparato Medidor de Expansión (Hinchamiento)

Compuesto por:

- a) Una placa metálica de 149,2 ± 1,6mm de diámetro, por cada molde. La placa debe tener perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6mm, y estar provista de un vástago ajustable de metal en el centro, con un sistema de tornillo y contratuerca que permita regular y fijar su altura.
- b) Un trípode metálico por cada molde, cuyas patas puedan apoyarse en el borde de éste, y que lleve montado en el centro un calibre comparador con indicador de dial, con precisión de lectura 0,025mm. El vástago debe desplazarse libremente y coincidir con el de la placa, de forma tal que permita controlar la posición de ésta y medir el hinchamiento (ver Figura S0404_1).
- c) Un dial para medir expansión, por cada molde, con precisión de lectura 0,025 mm.

6. Cargas

Para cada molde se debe disponer de una carga metálica anular y varias cargas ranuradas de $2,27 \pm 0,05$ Kg. cada una. La carga anular, de diámetro exterior de $149,2 \pm 1,6$ mm, debe disponer de una perforación u orificio en el centro de aproximadamente 54 mm de diámetro (ver Figura 50404_1).

Nota 4: Para disminuir el número de discos de carga necesarios para el ensayo, se pueden utilizar combinadamente discos confeccionados en plomo y en acero.

7. Pistón de Penetración

Metálico, cilíndrico, de 49,6 ± 0,1 mm de diámetro y una longitud no inferior a 101,6 mm.

- **8.** Otros equipos y Accesorios
 - a) Un tambor o depósito de capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua, ubicado en un lugar tal que ésta no alcance su punto de congelación.
 - b) Un horno con circulación de aire y temperatura regulable, que permita el secado de muestras a 110 ± 5 $^{\circ}$ C.
 - c) Balanza de 20 Kg. de capacidad y precisión 1 g.
 - d) Balanza de 2 Kg. de capacidad y precisión 0,1 g.

9. Tamices

Otros: Pailas, recipientes, probetas graduadas, poruñas, espátulas, reglas, brochas, discos de papel filtro, cronómetro, etc.



Equipos y Materiales Requeridos

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Prepare una muestra de acuerdo a lo indicado en los *Métodos S0402 o S0403*, de un tamaño aproximadamente igual a 70 kg. Efectúe un cuarteo mediante el *Método A0505* para obtener dos porciones de aproximadamente 35 Kg. cada una. Destine una de las porciones de 35 Kg. para el ensayo de humedad - densidad *(Métodos S0402 o S0403)*, y divida el resto de la muestra en 5 porciones representativas de aproximadamente 7 Kg. cada una para la ejecución del ensayo CBR.

<u>Relación Humedad – Densidad</u>

Determine el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima compactada seca (DMCS) del material, de acuerdo con los Métodos Proctor Normal ó Proctor Modificado, métodos B o D.

PROCEDIMIENTO

- **10.** Compacte al menos 3 probetas en un rango de 90% a 100% de la densidad máxima compactada seca determinada anteriormente.
- 11. Mezcle homogéneamente con agua cada una de las tres o más porciones de suelo por ensayar, previo secado en horno a 60º C hasta masa constante. Agregue la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima determinada en "Relación humedad-densidad". Luego proceda a curar la mezcla, colocando ésta en un dispositivo tapado hasta obtener una distribución uniforme de humedad.

Nota 5: En suelos de media a alta plasticidad el plazo de curado podrá variar entre 12 y 24 h. En suelos de baja a nula plasticidad este tiempo se podrá reducir a 30 - 60 min.

12. Para cada molde coloque el disco espaciador sobre la placa base. Fije el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y coloque un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador.



Inserción del Disco dentro del Molde



Ensamblado del Collarín



Colocación del Papel de Filtro

13. Compacte cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas igual al de las probetas usadas en el ensaye de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con distinta energía de tal manera que la densidad en la cual se desee determinar la razón de soporte quede entre las densidades de dos probetas.

Nota 6: Generalmente se utilizan probetas compactadas con 56, 25 y 10 golpes. Si la densidad en la cual se desea determinar el CBR es menor que la del molde de 10 golpes, se deberá confeccionar otra probeta con menor energía.

- **14.** Si las muestras van a ser sometidas a inmersión, determine el contenido de humedad al comienzo y al final del procedimiento de compactación (2 muestras). Cada una de ellas debe pesar como mínimo 500g.
- **15.** Si las muestras no se van a someter a inmersión, obtenga la muestra para la determinación de humedad después de efectuar la penetración, según procedimiento indicado en 31.

Nota 7: En zonas desérticas, en que se asegure que las precipitaciones anuales son inferiores a 50 mm y no nieva, se puede eliminar la inmersión.

- **16.** Retire el collar de extensión y enrase cuidadosamente el suelo compactado con una regla al nivel del borde del molde. Rellene con material fino bajo 5mm cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por eliminación de material grueso.
- 17. Saque la placa base perforada y el disco espaciador y pese el molde con el suelo compactado. Determine la masa del suelo compactado (m), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1g.

18. Determine la densidad de la muestra antes de la inmersión (ρ), dividiendo la masa de suelo compactado (m) por la capacidad volumétrica del molde (V);

$$\rho = m/V$$

a) Registre, aproximando el resultado a 0,01 g/cm³.



Enrase del Material



Extracción del Disco Espaciador

19. Coloque un disco de papel filtro grueso sobre la placa base perforada, invierta el molde y fíjelo a dicha placa, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

Nota 8: Cuando hay riesgo de disgregación del suelo compactado en el molde, éste debe pesarse junto con la placa base. En este caso, deben restarse tanto la masa del molde como la de la placa base para determinar m.

20. Coloque el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplique las cargas hasta producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27Kg. (5 lb). En ningún caso debe ser menor que 4,54Kg. (10 lb)



Colocación de Papel de Filtro



Inversión del Molde



Colocación de Disco de Perforación

21. Si la muestra va a ser sometida a inmersión, coloque los moldes con sus respectivas cargas en el recipiente sin agua y acomode el aparato de expansión a cada uno de los moldes, tomando lecturas iniciales de expansión o hinchamiento. Luego agregue el agua lentamente para no producir movimientos que desajusten el trípode de expansión, permitiendo el libre acceso de ésta a las probetas, las que debe dejar sumergidas durante 96 h. Durante este período mantenga la muestra sumergida a un nivel de agua constante, sin producir vibraciones que puedan alterar las mediciones de expansión.

Nota 9: Para suelos granulares que absorben humedad fácilmente y cuyo CBR, efectuado con inmersión de 96 h., sea mayor que 40%, podrá considerarse una reducción del tiempo de inmersión hasta un mínimo de 24 h.

22. Al término del período de inmersión, tome las lecturas finales de expansión a cada una de las probetas y calcule el porcentaje de expansión refiriendo dichas lecturas a la altura inicial de éstas:

$$porcentaje de expansion = \frac{expansion(mm)}{116.6} \cdot 100$$

- 23. Saque el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante15 min. Cuide de no alterar la superficie de la probeta mientras se extrae el agua. Puede ser necesario inclinar la probeta para eliminar el agua superficial.
- 24. Retire las cargas y la placa base perforada. Pese el molde con el suelo. Determine la masa de suelo compactado después de la inmersión (mi), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1 g.
- 25. Determine la densidad de la muestra después de la inmersión (i) dividiendo la masa de suelo compactado (mi) por la capacidad volumétrica del molde (v):

$$\rho_i = mi/v$$

a) Registre, aproximando a 0,01 g/cm³.

Penetración

26. Coloque sobre la probeta la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27 Kg. (5 lb) y en ningún caso menor que 4,54 Kg. (10 lb). Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el período de inmersión.

Para evitar el solevantamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas, coloque en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración. Luego coloque las cargas restantes.



Prensa para CBR

- **27.** Apoye el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso de 45 N. Coloque los calibres de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga penetración.
 - Nota 10: El dial de penetración debe estar adosado directamente al pistón y apoyado en el borde del molde.
- 28. Aplique la carga en el pistón de penetración de manera que la velocidad sea de 1,27 mm/min.
- **29.** Anote las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,64; 1,27; 1,91; 2,54; 3,18;3,81;4,45; 5,08; 7,62; 10,16 y 12,7mm.
 - **Nota 11:** Para equipos con diales en pulgadas estos intervalos corresponden aproximadamente a: 0,025; 0,050;0,075; 0,100; 0,125; 0,150; 0,175; 0,200; 0,300; 0,400 y 0,500 pulgadas.
- **30.** Anote la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce, si esto ocurre para una penetración menor que 12,7mm.
- 31. El ensaye debe realizarse hasta alcanzar una penetración mínima de 7,62mm (0,300pulgadas).
 - **Nota 12:** Durante el ensaye no debe sobrepasarse la capacidad de carga del anillo. La última anotación corresponderá a la penetración que se obtenga a la carga máxima admisible del anillo.
- **32.** Saque el suelo del molde y determine su humedad considerando la totalidad de la muestra.

CÁLCULOS

Curva de Tensión – Penetración

Calcule las tensiones de penetración en MPa, aproximando a un decimal, para lo cual divida las cargas aplicadas (kgf) por el área de la sección transversal del pistón (cm²); luego divida el resultado obtenido por el factor de conversión 10,2.

Trace la curva de cada molde en un mismo gráfico de tensión - penetración. En algunos casos esta curva puede tomar, inicialmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de la superficie u otras causas. En dichos casos, el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que esta tangente corta a la abscisa. El valor buscado estará desplazado a la derecha en la misma distancia que hay desde el origen hasta la intersección de la curva corregida con la abscisa (ver Figura S0404_2).

Razón de Soporte

Empleando los valores de tensión corregidos tomados de la curva tensión - penetración para 2,54 mm y 5,08 mm de penetración, calcule las razones de soporte para cada una de ellas, dividiendo las tensiones corregidas por las tensiones normales de 6,9 MPa y 10,3 MPa, respectivamente. Cuando en el ensaye no se logre una penetración de 5,08 mm, debe extrapolar la curva hasta dicho valor para calcular la razón de soporte.

Para los suelos del tipo A-1, A-2-4 y A-2-6, la razón de soporte se calcula sólo para 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-4, A-5, A-6 y A-7, cuando la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm resulte mayor que la correspondiente a 2,54 mm, repita el ensaye. Si el ensaye de chequeo entrega un resultado similar, emplee la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-3, A-2-5 y A-2-7, informe el mayor porcentaje de CBR obtenido entre los correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

Razón de Soporte - Densidad Seca

Usando los datos obtenidos para las distintas probetas, dibuje una curva "Razón de Soporte - Densidad Seca de Compactación", como se muestra en el gráfico de la Figura S0404_3. Se puede determinar así, la Razón de Soporte correspondiente a una densidad seca preestablecida.

INFORME

El informe deberá incluir la siguiente información:

- a) Referencia al procedimiento empleado para preparar y compactar las probetas.
- b) Acondicionamiento de la muestra (con o sin inmersión).
- c) Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (g/cm³).
- d) Densidad seca de la muestra después de la inmersión (g/cm³).
- e) Humedad de la muestra:
 - -Antes de la compactación (%).
 - -Después de la compactación (%).
 - -Después de la inmersión (%).
- f) Expansión (referida a la altura inicial del molde) (%).
- g) Razón de Soporte de la muestra (%).
- h) Cualquier información específica relativa al procedimiento de ensaye o al material.
- i) La referencia a este método.

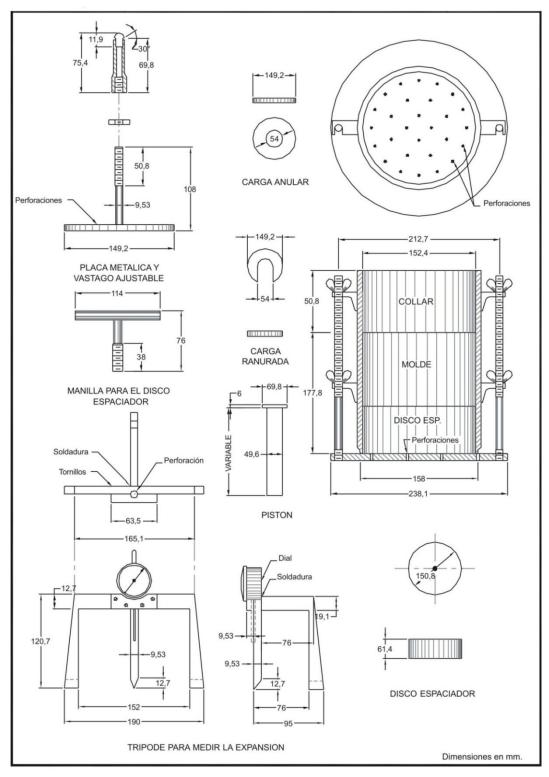


FIGURA S0404_1 APARATO CBR

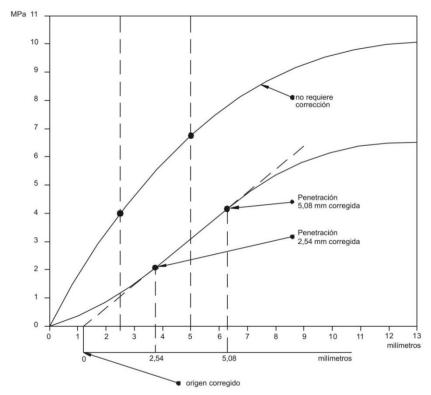


FIGURA S0404_2 CORRECCIÓN DE CURVAS TENSIÓN – PENETRACIÓN

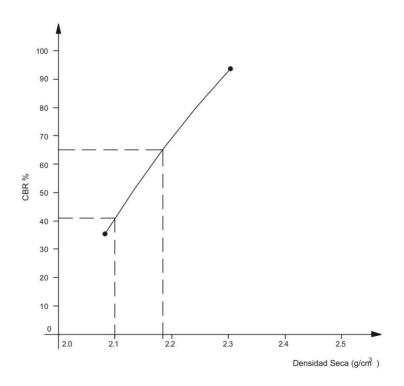


FIGURA S0404_3 CBR DENSIDAD SECA

Proyecto				Trabajo No.			
Localizac	ión del proye	ecto		_ , _ _ Perforación I	No Mues	stra No	
Descripci	ón del suelo_						
Realizado	o por			_Fecha de la	practica		
			N 1				
			% Diam. del n	nolde	Altura de sue	elo\	/ol
Peso hún del suelo		Peso sec	co del suelo, W _s		Yhúmedo		
Datos de	expansión						
Hora y fecha de	Tiempo transcurrido	Molde No Sobrecarga	N	Molde No Sobrecarga	N	Molde No	N
iniciación		Lectura del deformimetro (x)	$\% = \frac{S}{H}(100)$	Lectura del deformimetro (x)	$\% = \frac{S}{H}(100)$	Lectura del deformimetro (x)	$\% = \frac{S}{H} (100)$
	0 h						
	1 h						
	2 h						
	4 h						
						6	
			2	2			
Deenuée	de la inmers	ión					
Despues	G00000 0	de No.					
	Sobrec	CONTROL OF CONTROL					
F	Peso inicial d	•					
húm	edo + molde	+ base					
Peso fin	al de suelo h + molde						
	Peso molde	+ base					
F	Peso inicial d húm	e suelo edo, W _i					
Peso de	agua absorb	ida, W _w					
	absorbida =	10/ / 10/					

FIGURA \$0404_4 FORMULARIO TIPO

oroyecto			Trabajo No.	Trabajo No Muestra No					
_ocalización o	del proyecto		Perforación	ı No N	1uestra No				
	del suelo r					_			
(Odin20.212 p				p. a. a. a. a.					
	Molde No Sobrecarga	N	Molde No Sobrecarga	N	Molde No Sobrecarga	N			
Penetración mm	Lectura del deformimetro de carga (x)	Carga kPa	Lectura del deformimetro de carga (x)	Carga kPa	Lectura del deformimetro de carga (x)	Carga kPa			
0,000									
0,5									
1,0									
1,5									
2,0									
2,5									
3,0									
4.0									
5,0									
	1/3 Superior								
	1/3 Medio								
	1/3 Inferior								
	Promedio								
Vota: introduc	cir las unidades ned	esarias en l	os encabezamiento	S.					
⊃eso unitario	húmedo =		Peso unitario se	eco =					
Coo di illario	namedo								

FIGURA S0404_5 FORMULARIO TIPO

CAPÍTULO S0405. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE RESISTENCIA R Y DE LA PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE SUELOS COMPACTADOS (ASTM D2844 AASHTO T190)

OBJETO

Este método se refiere al procedimiento para ensayar suelos y áridos compactados tratados y no tratados, con los aparatos del estabilómetro y con los dispositivos de presión de expansión, para obtener resultados que indiquen su comportamiento cuando están colocados como sub-rasante, subbase, o base de una carretera, sometida a la acción del tránsito.

EQUIPOS Y MATERIALES

 Compactador amasador de California, con capacidad para aplicar una presión promedio de contacto de 2410 ± 100 kPa (350 ± 15 lb/pulg²), a la pata del pisón mostrado en la Figura S0405_1 y que pueda mantener esta presión, durante los cambios que se sucedan en la altura del espécimen.

El desarrollo de la relación carga-tiempo, deberá estar libre de "vibraciones" o de evidencias de cambios en la pendiente, asociados con impactos. El incremento del tiempo para aplicación de la presión de la pata en el intervalo de 240 a 2.070 kPa (35 a 300 lb/pulg²), no deberá ser menor de 0,07, ni mayor de 0,20 seg. El tiempo de desarrollo medido para una presión de 2.070 kPa (300 lb/pulg²), no deberá ser menor de 0,15 ni mayor de 0,45 seg. El tiempo para quitar o remover la presión no deberá ser mayor de 0,60 seg. El compactador deberá incluir un contador o un cronómetro, para medir el número de golpes aplicados al espécimen y un soporte del molde para emplearlo en la compactación de los especímenes, que gire igualmente entre golpes para proporcionar de 5 a 7 golpes por revolución del molde. El soporte del molde deberá retenerlo firmemente durante la compactación. La base del soporte del molde deberá tener una placa metálica de 100,8mm (3 31/32") de diámetro y 12,7mm (0.5") de altura, a la cual se halle cementado un disco de caucho, que tiene un diámetro de 100,0mm (3 15/16") y de 3,2mm (1/8") de altura. La placa deberá ser parte integral de la base del sostenedor del molde.

El compactador deberá incluir también un canal, para alimentar la muestra dentro del molde en 20 incrementos (ver Figura S0405_2). Son satisfactorios canales de alimentación con una sección transversal semicircular de 39 cm² (6 pulg²) y longitud de 508 mm (20").

- 2. Prensa para Ensayo de Compresión, con una capacidad mínima de 45 kN (10.000 lb) y que satisfaga los requisitos para la verificación de aparatos de ensayo.
- 3. Molde de $101,6 \pm 0,05$ mm (4 ± 0.002 ") de diámetro interior por 127 ± 0.20 mm (5 ± 0.008 ") de altura (Véase la Figura S0405_3)
- **4.** Discos de caucho, de 100 mm (2 15/16") de diámetro por 3 mm (1/8") de espesor y que tengan una dureza al durómetro de 60 ±15.
- 5. Guía metálica de pared sólida de $100,22 \pm 0,13 \text{ mm}$ (3.95 ± 0.005 ") de diámetro exterior, por 125 mm (5") de longitud.
- **6.** Aparato de exudación, como el mostrado en la Figura S0405 4.

- U
- 7. Disco de bronce fosforado, como el indicado en la Figura S0405_5.
- **8.** Papel de filtro de 100mm de diámetro y 0.15 mm (0.006") de espesor, superficie suave, velocidad de filtración media y retención mediana.
- **9.** Papel de filtro de 110mm de diámetro y 0,15 mm (0.006") de espesor, superficie encrespada, velocidad de filtración media rápida y retención mediana.
- **10.** Aparato de presión-expansión con accesorios como se muestra en la Figura S0405_6. Deberá disponerse de por lo menos tres de estos aparatos por cada muestra que se vaya a ensayar diariamente.
- **11.** Medidor de deflexión, con divisiones de 0,002 mm (0.0001") y llave de sección hexagonal (Allen) como se muestra en la Figura S0405_6.
- 12. Estabilómetro con accesorios, como se muestra en las Figuras S0405_7 y S0405_8.
- **13.** Espécimen metálico normal de 101,6 \pm 0,13 mm (4 \pm 0.05") de diámetro exterior por aproximadamente 152,2 mm (6") de altura como se muestra en la Figura S0405_8.
- 14. Balanza, con capacidad de 5kg y con precisión de 1g.
- **15.** Tamices de 25 mm (1"), 19,0 mm (3/4") y 4,75 mm (No.4).
- **16.** Equipo misceláneo, el cual incluye cazuela para mezclar, espátula, cucharas, y canecas de capacidad de 1 galón con tapones para cierre ajustado.

CALIBRACIÓN DEL APARATO DE PRESION-EXPANSION

- **17.** Calíbrese el resorte de barra de acero del dispositivo de presión-expansión (Figura S0405_6), aplicando cargas determinadas hacia arriba en el centro de la barra y midiendo las correspondientes deflexiones de la barra con el deformímetro.
- **18.** Se considera que el resorte de barra de acero está calibrado cuando se halla dentro de las tolerancias siguientes:

TABLA S0405_1 TOLERANCIAS PARA EL RESORTE DE BARRA DE ACERO

Carga Aplicada	Lectura del Dial
N (lb)	en mm (pulg)
36 (8)	0,055 ± 0,005 mm (0.0021 ± 0.0002")
71 (16)	0,110 ± 0,005 mm (0.0042 ± 0.0002")
107 (24)	0,165 ± 0,005 mm (0.0063 ± 0.0002")
142 (32)	0,220 ± 0,005 mm (0.0084 ± 0.0002")

19. Si el deformímetro no comprueba las lecturas anteriores, suéltese la barra de la parte superior del marco y ajústese la posición de los suplementos, entre el marco y el resorte de barra de acero, hasta que se obtenga la lectura requerida. Algunos modelos del aparato de presión expansión tienen juegos de tornillos de ajuste en lugar de suplementos. Para una discusión completa del procedimiento de calibración es necesario referirse al método de ensayo 902 de California.

PREPARACIÓN DEL SUELO

20. Remuévase cualquier clase de costras de los áridos gruesos y rómpanse los terrones de arcilla que pasen el tamiz de 19,0 mm (3/4").

Ajústese la gradación del suelo, cuando parte del material es retenido en el tamiz de 19 mm. Cuando 75% o más pasa el tamiz 19 mm, úsese la parte de la muestra que pasa este último.

Si menos del 75% de la muestra pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") empléese la parte de la muestra que pasa el tamiz de 26,5 mm (1").

PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DEL SUELO

- 21. Mézclense completamente cuatro muestras de suelo de 1200 g, con la cantidad de agua estimada y que sea igual a los dos tercios del agua necesaria para producir saturación, como se la define en los numerales 23 Y 24. Colóquense las muestras dentro de recipientes cubiertos y déjense así durante la noche. Inmediatamente antes de la compactación, mézclense las muestras con la cantidad final de agua requerida para producir saturación. La primera muestra se utiliza como muestra piloto, que sirve para determinar la cantidad de agua finalmente requerida.
- 22. Pésese material en cantidad suficiente para elaborar un espécimen compactado de 101,6 mm (4") de diámetro, por 63 mm (2.5") de altura. Compáctese el suelo dentro del molde por medio del compactador amasador en la siguiente forma: Colóquese el molde en su soporte y ajústese de manera que quede con una separación aproximada de 3 mm (1/8"), entre el borde inferior del molde y la base del soporte. Con la presión de la pata del compactador fija en 1.720 ± 170 kPa (250 ± 25 lb/pulg²), introdúzcanse en el molde, 76 mm (3") de suelo, por medio del canal alimentador, en 20 incrementos iguales con una aplicación del pisón después de cada incremento. Háganse 100 aplicaciones.
- **23.** Adicionales; con una presión en la pata de 2.410 kPa (350 lb/pulg²). Deténgase la compactación en cualquier momento, antes de los 100 golpes si aparece agua alrededor del fondo del molde. Empléese una presión de compactación menor, cuando sea necesario limitar la penetración del pistón dentro del suelo, a no más de 6 mm (1/4").
- **24.** Retírese del compactador el molde que contiene el espécimen compactado. Nivélese la superficie compactada apisonándola a mano con una varilla de 38 mm (1.5") de diámetro. Colóquese un disco de bronce fosforado sobre la superficie apisonada del suelo y un disco de papel, sobre la parte superior del disco de bronce. Inviértase el molde y colóquese dentro del dispositivo de exudación, de modo que el papel de filtro quede sobre el fondo.

Empleando la prensa de compresión, aplíquese uniformemente un incremento de presión al suelo, a una tasa de 8.900 N/min. (2000 lbf/min).

El agua deberá exudarse del suelo a 2.080 kPa (300 lb/pulg²), como evidencia de que hay humedad suficiente para producir saturación. Deténgase la carga y anótese la presión de exudación, cuando cinco de las seis luces exteriores se enciendan en el dispositivo de presión de exudación o cuando tres de las luces exteriores se enciendan y se observe agua libre en torno al fondo del molde. No debe excederse la carga de 5.520 kPa (800 lb/pulg²).

25. Moldéense por lo menos dos especímenes adicionales con cantidades diferentes de humedad, de tal modo que se obtenga un intervalo de presiones de exudación entre 690 y 5.520 kPa (100 a 800 lb/pulg²), el cual incluye el valor de 2.070 kPa (300 lb/pulg²).

Para algunos suelos con elevado cambio de volumen, se necesitarán especímenes adicionales, que tengan presiones de exudación menores de 690 kPa (100 lb/pulg²), con el fin de obtener presiones de expansión que sean suficientemente bajas y que proporcionen un intervalo de datos adecuados, para un análisis completo de la presión de expansión del suelo.

Ocasionalmente, especímenes de arcilla muy plástica, expulsarán agua por debajo y alrededor de la guía del pisón, durante la operación de carga. Si ocurre esto cuando se hayan alcanzado 5.520 kPa (800 lb/pulg²) y se enciendan menos de cinco luces, deberá informarse que el suelo tiene un valor de R menor de 5. Materiales granulares gruesos y arenas limpias, pueden requerir el empleo de empaquetaduras de papel para poder efectuar el ensayo.

ENSAYO DE PRESIÓN-EXPANSIÓN

- **26.** Déjense recuperar el espécimen en un molde cubierto por lo menos durante 30 minutos después de la determinación de la presión de exudación.
- **27.** Colóquese el deformímetro sobre el dispositivo de presión expansión, con el extremo sencillo de apoyo de la base del dial, descansando sobre el anillo de ajuste.
- **28.** Utilizando una llave hexagonal (Allen), levántese o bájese el suplemento de ajuste hasta que el deformímetro esté sobre -0,025 mm (-1.0010"). El medidor de deflexión leerá 0,229 mm (0.0090").
- **29.** Colóquese firmemente el disco perforado con el vástago sobre la cara del espécimen compactado en el molde y póngase en el dispositivo de presión-expansión después de colocar el filtro de papel de superficie encrespada, sobre el disco giratorio.
- **30.** Asiéntese firmemente el disco perforado sobre el espécimen mediante presión aplicada con los dedos. Levántese el disco giratorio sobre el dispositivo de presión hasta que el medidor de deflexión indique cero. Si el dispositivo fue ajustado correctamente de acuerdo con el numeral 27, éste fijará la deflexión de la carga de preasentamiento en 0.025 mm (0.001").
- **31.** Agréguense aproximadamente 200 mL de agua dentro del molde y déjese desarrollar la presión de expansión del espécimen, durante un período de 16 a 24 horas.
 - -No debe dejarse un espécimen de ensayo sin confinamiento mediante el dispositivo de presión-expansión, mientras haya agua libre sobre la parte superior del espécimen en el molde.
- **32.** Mídase la deflexión del resorte calibrado de barra de acero con aproximación a 0,002 mm (0.0001").

Cuando la deflexión sea mayor que 0,254 mm (0.0100"), el dispositivo de presión-expansión deberá calibrarse nuevamente antes de usarlo de nuevo.

33. Determínese la presión de expansión, P, de la siguiente forma:

$$P = kd$$

Donde:

k = constante del resorte de barra de acero calculado a partir de la calibración del aparato de presión-expansión, expresado en kPa/0,025 mm (psi/0.0010").

d = deflexión indicada por el deformímetro en mm (").

AJUSTE DEL ESTABILÓMETRO

- **34.** Ajústese la tuerca de bronce sobre la platina de base del estabilómetro de manera que la parte superior de ésta quede a 89 mm (3½") por debajo del fondo del anillo superior ahusado del estabilómetro. Efectúense todos los ensayos con este montaje.
- **35.** Ajústese la cantidad de aire en la celda del estabilómetro, de manera que $2 \pm 0,05$ vueltas del manubrio de la bomba aumenten la presión del líquido de 35 a 690 kPa (5 a 100 lb/pulg²) con el espécimen metálico normal en la cámara del estabilómetro.

VALOR DE RESISTENCIA DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

- **36.** Después de determinar la presión de expansión, remuévase el agua de la parte superior del espécimen y colóquese el molde con el espécimen sobre la parte superior del estabilómetro. Instálese la guía sobre la parte superior del espécimen y fuércese, desde el molde hacia el estabilómetro. Bájese la cabeza de la prensa de ensayo hasta que encaje justamente con la guía.
 - Si se ha drenado toda el agua del espécimen, añádase agua a la parte superior y déjese reposar por 15 minutos. Elimínese cualquier exceso de agua y continúese con el ensayo.
- **37.** Aplíquese una presión horizontal de 35 kPa (5 lb/pulg²) al espécimen, mediante la bomba de desplazamiento y aplíquese luego una carga vertical empleando una tasa uniforme de movimiento de 1,3 mm/min. (0.05"/min.).
- **38.** Regístrese la presión horizontal cuando la carga vertical sea de 8.900 N (2000 lb) y deténgase la aplicación de la carga. Redúzcase la carga a 4.450 N (1000 lb). Con la bomba de desplazamiento, ajústese la presión horizontal a 35 kPa (5 lb/pulg²). Esto ocasionará una reducción adicional de la carga vertical, lo cual debe ser ignorado.
- **39.** Gírese la manija de la bomba del estabilómetro, aproximadamente a dos vueltas por segundo, y mídase el número de vueltas (usando el respectivo indicador del estabilómetro) necesario para elevar la presión horizontal de 35 a 689 kPa (5 a 100 lb/pulg²). El número de vueltas de desplazamiento del espécimen se denomina D.
- 40. Determínese la resistencia, R, así:

$$R = 100 - \frac{100}{(2.5/D) \cdot (160/Ph - 1) + 1}$$

Donde:

Ph = Presión horizontal, kPa (lb/pulg²) y D = Lectura de vueltas de desplazamiento

Este es el valor R para especímenes con alturas compactadas de 62 a65 mm (2.24 a 2.55"). Si la altura del espécimen se halla entre 58 y 62 mm ó 65 y 68 mm (2.3" y 2.45" o 2.55 y 2.7") úsese el gráfico *(Véase Figura S0405_9)* para corregir los valores R a un espécimen con altura de 63 mm (2.5").

Si el valor de R se desea a una presión de exudación específica, por ejemplo a 2.070 kPa (300 lb/pulg²) dentro del intervalo de las presiones medidas en el ensayo de los tres especímenes,



es conveniente construir un gráfico de valores de R contra presiones de exudación e interpolar.

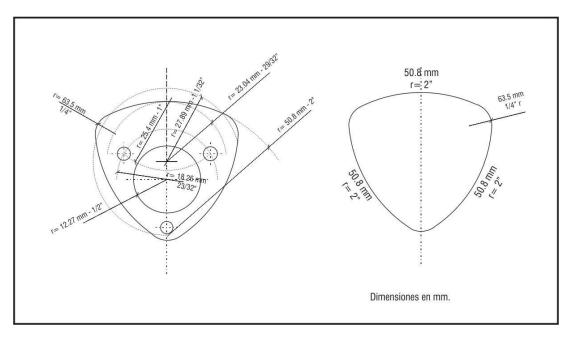


FIGURA S0405_1 CARA DEL PISÓN DE COMPACTACIÓN

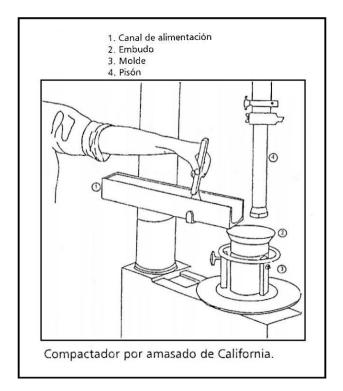


FIGURA S0405_2 COMPACTADOR POR AMASADO DE CALIFORNIA

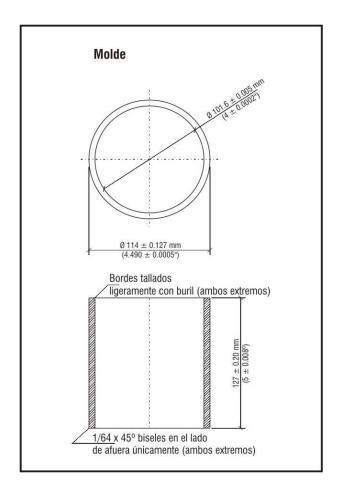


FIGURA S0405_3 MOLDE

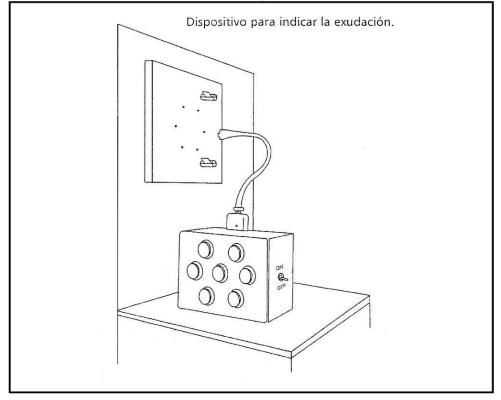


FIGURA S0405_4 DISPOSITIVO PARA INDICAR LA EXUDACIÓN

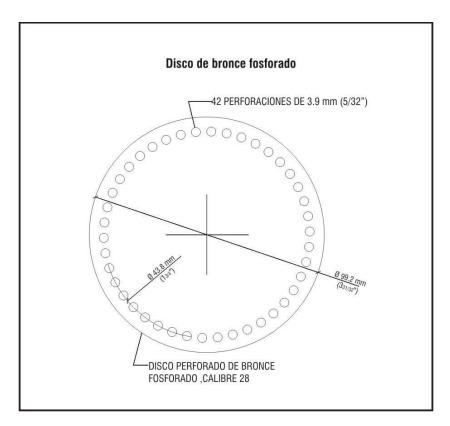


FIGURA \$0405_5 DISCO DE BRONCE FOSFORADO

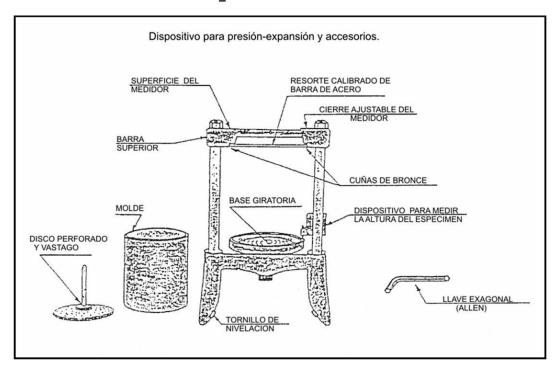


FIGURA S0405_6 DISPOSITIVOS PARA PRESIÓN-EXPANSIÓN Y ACCESORIOS

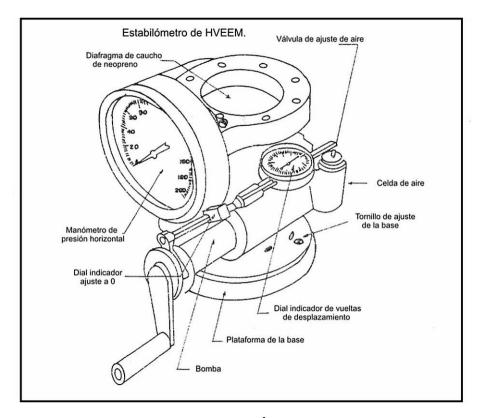


FIGURA S0405_7 ESTABILÓMETRO DE HVEEM

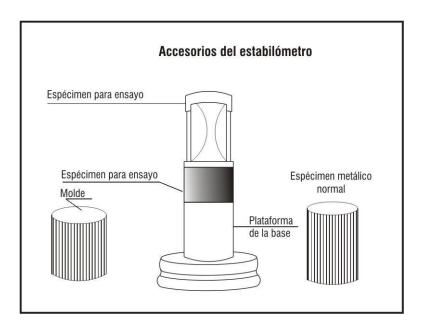


FIGURA S0405_8 ACCESORIOS DEL ESTABILOMETRO

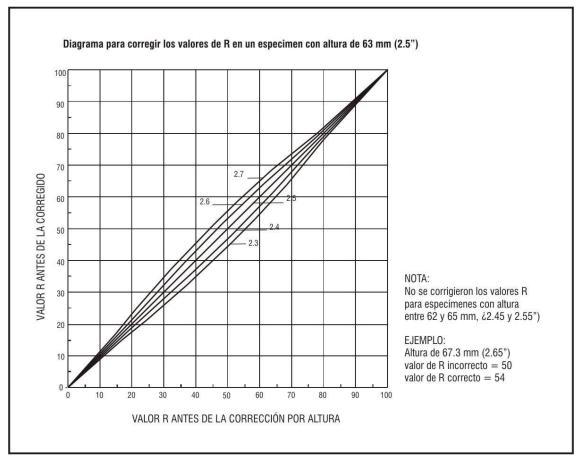


FIGURA \$0405_9 DIAGRAMA PARA CORREGIR LOS VALORES DE R EN UN ESPÉCIMEN CON ALTURA DE 63 MM

CAPÍTULO S0406. MEDICIONES DE LA PRESIÓN DE POROS (AASHTO T252)

OBJETO

Este método se refiere al procedimiento para medir las presiones de poros de suelos naturales en el campo.

USO Y SIGNIFICADO

Las razones principales para medir presiones de poros en la construcción y mantenimiento de las carreteras son:

- a) Verificar cambios de resistencia durante la construcción.
- b) Estimar asentamientos remanentes después de la construcción.
- c) Conocer los valores de determinar presiones de poros existentes en deslizamientos o derrumbes.
- 1. El método consiste en la instalación de dispositivos para medir la presión de poros en un punto señalado del suelo, a partir de un conocimiento detallado de las condiciones del terreno y de la evaluación de las necesidades. Las medidas de presión de poros pueden efectuarse determinando la presión de poros total en el punto o la presión de poros diferencial en ese punto con relación al nivel freático normal circundante. Estos datos generalmente se reducen a la presión de poros en exceso o sea a la diferencia entre la presión de poros medida y la presión de poros normal bajo el nivel freático general para el área en el momento de la lectura.
- 2. La interpretación de las mediciones de la presión de poros en el campo es complicada por la variabilidad que se presenta en los suelos, tanto vertical como horizontalmente. Por esto, la interpretación de cualquier medida de presión de poros puede ser engañosa si no se conoce adecuadamente el perfil completo del suelo, la historia de las cargas y los parámetros detallados del suelo.

EQUIPOS Y MATERIALES

3. Sistema abierto

Puede usarse el siguiente equipo para obtener la presión de poros en suelos de permeabilidad relativamente alta, aún cuando también es satisfactorio para suelos de permeabilidad baja.

- a) Un pozo sencillo de observación abierto, consistente en un agujero sostenido, si fuere necesario, por revestimiento plástico o metálico.
- b) Una instalación normal de punta coladora (Wellpoint), la cual consiste en una punta con una malla coladora colocada en el extremo de un tubo normal. Existen diferentes longitudes de malla y de aberturas, para emplear en situaciones diferentes.
- c) El piezómetro hidráulico abierto tipo Casagrande, el cual consiste en una celda porosa conectada a un tubo elevador de diámetro pequeño, rodeado de arena normalizada, que pase 100% por el tamiz de 850 μ m (No.20), y que quede retenida 100% en el tamiz de 425 μ m (No.40), sellada en la base y que se coloca en el fondo de un agujero perforado.

Las celdas pueden conseguirse en diferentes tamaños y porosidades y pueden elaborarse de piedra cerámica de filtro, de plástico poroso o de metales porosos. El tubo elevador debe ser de plástico y, por conveniencia para la lectura, debe tener un diámetro interior no menor de 6.35 mm (1/4") (Véase la Figura S0406_1).

4. Sistemas cerrados

Pueden emplearse los siguientes equipos para obtener las presiones de poros en suelos de baja permeabilidad, pero también son satisfactorios para suelos de permeabilidad elevada.

a) Piezómetro cerrado tipo Casagrande

Consiste de una punta porosa sellada dentro de una capa de suelo, conectado a la superficie del terreno mediante un(os) tubo(s) lleno(s) con un fluido y a su vez conectado (s) a un medidor. La punta porosa se instala en el fondo de un agujero perforado, rodeada por arena normalizada (que pase 100% por el tamiz de 850 μ m (No.20), y que quede completamente retenida en el tamiz de 425 μ m (No.40)).

El tubo puede ser de 6,35 a12,7 mm (1/4 a 1/2") o de mayor diámetro, de plástico o de metal flexible. Deberá emplearse agua limpia para llenar el tubo. Deberá utilizarse un manómetro compuesto Bourdon de tipo tubo (de capacidad suficiente para registrar el cambio esperado en la presión de poros). El manómetro deberá calibrarse para las condiciones bajo las cuales será usado (posición, temperatura, etc.). Este tipo de sistema mide la presión diferencial del agua entre el nivel freático circundante del terreno y la presión dentro del sistema de suelo.

b) Piezómetro Neumático

Puede consistir en un transductor (comunicador de presión neumático), confinado en una caja de plástico o de acero inoxidable provista de una abertura porosa (cerámica, plástica o de metal) que permita que el agua de los poros alcance el diafragma del transductor. Dos pequeñas conexiones para aire, de diámetro pequeño y de plástico, están conectadas al transductor. Se necesita un suministro de aire comprimido, tomado de una instalación o de botellas individuales, (limpio y sin humedad) para operar el transductor. Es igualmente necesario un manómetro de presión de aire con capacidad suficiente para registrar la presión existente a la profundidad donde se encuentre la punta del piezómetro, más la presión de aire esperada.

c) Piezómetro operado eléctricamente

Consiste en un diafragma calibrado (con un deformímetro adjunto), confinado dentro de una caja sellada, de plástico o de acero inoxidable, con un lado abierto a la presión del agua en los poros a través de un filtro poroso. El deformímetro adjunto al diafragma puede ser del tipo de resistencia o de alambre vibratorio. La presión de poros se obtiene mediante el uso de un sistema de lectura eléctrico compatible con el tipo del deformímetro empleado.

d) Piezómetro L.C.P.C

El aparato consiste en una unidad sensible de paredes porosas de la cual salen hacia el exterior dos tubos. El tubo 1 se utiliza cuando el piezómetro se instala como si fuera abierto y el tubo 2 conecta la unidad sensible con un dispositivo que se debe utilizar en aquellos suelos en los que el tiempo de respuesta sea muy grande.

PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN

Instalaciones perforadas o hincadas

5. Piezómetros de pozo abierto

a) Pozo abierto

Hínquese un tubo normal (con una punta desechable) del tamaño y resistencia adecuados, hasta que alcance la capa de suelo natural en la cual se va a obtener la presión de poros. Hálese hacia atrás el tubo una distancia suficiente para obtener respuesta de la presión de poros y colóquese una tapa con ventilación sobre el tubo.

b) Punta coladora (Wellpoint)

Hínquese la tubería estándar (con la punta coladora asegurada en su posición), de tamaño y resistencia adecuados para alcanzar la capa de suelo en la cual se va a obtener la presión de poros. La punta coladora debe ser del tamaño, longitud y abertura de malla adecuados para el suelo en el cual se instala. Sin embargo, el diámetro más grande de la punta coladora no deberá ser mayor que el de la tubería acoplada sobre ella. Insértese una manguera flexible a través del tubo y dentro de la punta coladora. Bombéese agua limpia a través de la manguera para limpiar la punta y la malla. El flujo deberá continuarse durante aproximadamente 5 minutos después de que salga limpia el agua por la parte superior del tubo. Remuévase la manguera e instálese una tapa con ventilación sobre el tubo.

c) Punta coladora (Wellpoint) de bajo cambio de volumen
 Se sella firmemente un tubo plástico de diámetro pequeño de 9,5 a12,7 mm
 (3/8" a 1/2") (mediante un acople mecánico o un pegante apropiado) a la punta coladora (Wellpoint) escogida.

El sello deberá ser suficientemente fuerte para que resista la presión de poros total sin permitir el goteo dentro de la tubería de hincada; la punta coladora se ensambla a la tubería de hincada, la cual debe ser de tamaño y resistencia suficientes para alcanzar la capa de suelo en la cual se pretende medir la presión de poros. Las roscas de la tubería de hincada localizadas en los primeros 6 m (20 pies) deberán sellarse para evitar el goteo a través de las juntas de la tubería.

El tubo plástico es enroscado a medida que se hinca la tubería. Después de hincada la tubería plástica, se suspende (con suficiente tensión para mantenerla recta) de la parte superior y se cubre con una tapa ventilada.

6. Piezómetros de sistema cerrado

Los piezómetros de sistema cerrado pueden hincarse dentro de la capa del suelo de manera similar a la descrita en el numeral anterior. No obstante se permitirá el uso de puntas y filtros no comunes para situaciones especiales. Son aceptables conexiones al tubo normal o a las varillas de perforación normales, con la condición de que los sellos sean herméticos para las presiones de poros utilizadas y que el diámetro de la punta no exceda al de la varilla de perforación o al del tubo guía. Para piezómetros tipo Casagrande, la punta y la tubería (suficiente para alcanzar la superficie del terreno) deben llenarse completamente con agua limpia antes de iniciar su hinca. Deberá sellarse el extremo superior del tubo para evitar la entrada o pérdida de agua del sistema durante la hinca. No deberán emplearse conexiones en el tubo vertical (tubo elevador).

Conexiones Superficiales:

7. Cuando los piezómetros de sistema cerrado deban extenderse verticalmente a través del relleno de un terraplén, este proceso se hará de manera adecuada para el tipo de piezómetro que se va

a instalar, previendo (1) que se proporcione una protección adecuada y (2) que haya un método para volver a calibrar la lectura de presión de poros con cada extensión. Los sistemas de piezómetros cerrados con dispositivo de lectura remota deberán instalarse de la siguiente manera:

- a) Excávese una zanja de 610 mm (2') de profundidad por 305 mm (1') de ancho, desde la localización del piezómetro hasta la caja de protección para la lectura. El fondo de la zanja deberá estar a 610 mm (2') por debajo de cualquier construcción futura (cunetas, tuberías, etc.).
- b) La parte superior de la tubería guía de hinca deberá removerse en una longitud de al menos 1.52 m (5') por debajo de la superficie del terreno. El tubo o cable conductor deberán centrarse sobre el tubo de camisa por lo menos 305 mm (1') a medida que se coloque arena en el hueco.
 - El tubo o cable conductor deberá enrollarse en una espiral de aproximadamente 610 mm (2') de diámetro hacia arriba hasta el fondo de una zanja excavada aproximadamente hasta 610 mm(2') por debajo de la superficie del terreno, colocando arena alrededor a medida que se efectúa esta operación.
- c) Los cables conductores horizontales deberán colocarse en la zanja que lleva al sitio de lectura, siguiendo una trayectoria en zig-zag sobre un lecho de 152 mm (6") de arena limpia. Cuando se utilice más de un tubo o cable conductor en una zanja, no deberán cruzarse.
- d) Todos los tubos o alambres horizontales deberán comprobarse en cuanto a su continuidad, escapes, etc., antes de efectuar las conexiones finales a los cables conductores verticales del piezómetro. En lo posible, estos conductores no deberán tener uniones, desde la punta del piezómetro hasta la caja de protección para lectura.
- e) Todos los conductores eléctricos deberán sumergirse en agua limpia y deberá comprobarse su resistencia; si hubiera algún cambio en ésta después de la inmersión, deberán descartarse y reemplazarse.

Los conductores de aire para piezómetros neumáticos deberán sumergirse en agua limpia para verificar que no haya escapes bajo presiones que excedan la presión de poros esperada.

También, los conductores de aire deberán soplarse con aire a elevada presión para limpiar cualquier polvo o humedad antes de realizar las conexiones finales. El aire empleado para la limpieza deberá provenir de un tanque que mantenga únicamente aire filtrado y al que se le haya sacado el exceso de humedad.

Los tubos horizontales para los piezómetros hidráulicos deberán ensayarse a un vacío de 508 mm (20") de mercurio antes de ser llenados con agua coloreada. Deberá haber dos tubos horizontales con una conexión en tal elevador vertical de la punta del piezómetro. Los tubos deberán estar completamente llenos con líquido coloreado en una configuración tal, que puedan verse y removerse las burbujas que se presenten durante el llenado. La manera preferida para llenarlos consiste en sumergir un extremo en el fluido coloreado, sellar con un tapón la T en el extremo que conecta al elevador y aplicar un vacío al extremo libre del tubo horizontal.

Durante esta operación, debe tenerse cuidado de evitar la formación de burbujas de aire. Una vez que esté completamente lleno el tubo con fluido, se deberán hacer las conexiones a la caja de lectura. El elevador vertical de la punta del piezómetro se llenará entonces con agua, se removerá el tapón del tubo horizontal en T; la conexión entre el elevador vertical y

los tubos horizontales deberá efectuarse bajo agua. Las alturas de la T y del manómetro de lectura deberán determinarse antes de rellenar la zanja.

Piezómetros instalados en huecos de perforación

- **8.** Para la instalación de piezómetros mediante perforación se necesita el siguiente equipo adicional.
 - a) Un martillo para apisonar, elaborado con un tubo de acero sin costura, de 610 mm (2') de longitud, de 41,3 mm (1 5/8") de diámetro exterior y de 15,9 mm (5/8") de diámetro interior, o de bronce fundido con las mismas dimensiones y que pese por lo menos 11,3 kg (25 lbs). Estas dimensiones son para un revestimiento de 50,8 mm (2") de diámetro interior. Se necesitan martillos de dimensiones mayores para revestimientos de mayor diámetro. En el extremo superior, un cable galvanizado de 3/8 mm (1/8") de diámetro de alta resistencia deberá asegurarse firmemente al martillo y a un anillo ranurado. La superficie interior del martillo deberá ser lisa y todos los bordes que toquen el tubo deberán ser redondeados. Este martillo deberá suministrarse con un disco de 41,3 mm (1 5/8") de diámetro y de 12,7 mm (1/2") de espesor, que pueda ajustarse firmemente en la base. Este disco deberá tener una ranura en el centro (de tamaño adecuado para acomodar el tubo o los conductores empleados) con bordes redondos. Este conjunto con cable se emplea para los siguientes fines:
 - b) Para apisonar las capas de bentonita y asegurar por lo tanto, el sello hermético entre el revestimiento y los elevadores.
 - c) Para centrar los elevadores mientras se está apisonando en un sitio el sello de bentonita.
 - d) Para medir profundidades en las diferentes etapas de instalación.
 - e) Cable galvanizado reforzado de alta resistencia de 6,35 mm (1/4") de diámetro, de longitud suficiente para que permita la instalación del piezómetro a mayores profundidades. Este deberá fijarse seguramente al extremo de un broche con eslabón giratorio del tipo de polea. Márquese el cable a intervalos de 1,52 m (5'), iniciándose en la cara inferior del martillo.
 - f) Trípode y polea para operar el martillo.
 - g) Equipo de muestreo por perforación.
 - h) Arena normalizada o equivalente, completamente lavada, que pase el tamiz de 0.850 mm. (No.20) y que quede retenida en el tamiz de 0,425 mm (No.40).
 - i) Bolas de bentonita de alrededor de 12,7 mm (½") de diámetro, que se forman con un contenido de agua apenas por encima del límite plástico pero por debajo del límite de pegajosidad (esto es, con una consistencia de masilla), cubierta con polvo talco para evitar que se peguen, y almacenadas en jarras o frascos de vidrio para protegerlas del secamiento, o también pastillas comerciales de bentonita.
 - j) Guijarros redondos aproximadamente de 12,7 mm (½") de diámetro.
- 9. Hínquese la tubería de revestimiento de 50,8 mm (2") de diámetro interior o mayor, hasta la cota aproximada del fondo de la celda del piezómetro. La sección del fondo correspondiente a los primeros 3,05 m (10') hincados, debe ser de una sola pieza, sin uniones ni acoples y no debe tener zapata guía en su extremo inferior. El revestimiento puede hacerse avanzar por cualquier medio, excepto para los últimos 6,1 m (20') penetrados, en los cuales deberá avanzarse en incrementos de 1.52 m (5') y el revestimiento deberá lavarse después de cada avance de 1,52 m (5'). El revestimiento deberá mantenerse lleno con agua en todo momento y no se permitirá el lavado por debajo del mismo.

- a) Obténgase con cuchara una muestra del material localizado en los 305 mm (12") por debajo del fondo del revestimiento y envíense las muestras en frascos sellados. Hínquese el revestimiento otros 305 mm (12") por debajo de la profundidad de la celda del piezómetro hasta el fondo del mismo. Remplácese el agua del revestimiento con agua limpia invirtiendo el flujo de la bomba y empleando su extremo inyector como extremo de admisión el cual se debe mantener a unas pocas pulgadas por encima del fondo del revestimiento. Manténgase el revestimiento lleno de agua limpia y continúese la operación hasta que el agua de retorno surja clara.
- b) Extráigase el revestimiento una longitud de 305 mm (1") y viértase arena limpia dentro del hueco hasta llenar esa misma altura. La profundidad de la superficie de la arena deberá medirse mediante una sonda. Bájese el conjunto dentro del revestimiento hasta que la celda del piezómetro descanse sobre la arena, y céntrese bajando el martillo de apisonamiento hasta el extremo superior de la misma.
- c) Para piezómetros neumáticos: Conéctense los conductos de aire a la celda del piezómetro (dejándoles una longitud continua sin uniones que supere en 3,05 m (10') la distancia a la superficie del terreno).
 Deberá verificarse que no existan escapes en el sistema y los conductos de aire deberán marcarse o colorearse antes de su instalación. La precisión de la celda y del manómetro de lectura deberá comprobarse midiendo la presión de poros (igual a la cabeza de agua en el revestimiento) a diferentes profundidades entre la parte superior del revestimiento y la profundidad de la instalación. Los conductos deberán taponarse entonces para evitar la entrada de polvo durante el resto de la instalación.
- d) Para piezómetros eléctricos:

 Conéctense los conductos eléctricos a la celda del piezómetro (en una longitud continua sin uniones hasta extenderlas a 3,05 m (10') por encima de la superficie del terreno), con conexiones herméticas a prueba de agua. Las conexiones deberán ser de un color pre-establecido o marcadas antes de su instalación. La precisión del piezómetro deberá verificarse como se indicó en el párrafo anterior.
- e) Para piezómetros hidráulicos:
 Satúrese la punta porosa y llénese el tubo elevador (en una longitud continua sin uniones hasta que se extienda a 3,05 m (10') por encima de la superficie del terreno) con agua limpia, sumergiendo la punta porosa en dicha agua y aplicándole vacío al tubo. Deberá comprobarse que no haya burbujas de aire en el tubo y taponar después su extremo superior. La punta porosa deberá extraerse del agua únicamente cuando sea transferida al revestimiento lleno.
- 10. Hálese el revestimiento de tal manera que el fondo del mismo quede 305 mm (1') por encima del fondo de la celda y al mismo tiempo, viértase lentamente un volumen medido de arena limpia dentro del revestimiento de tal manera que la arena llene el espacio alrededor de la punta del piezómetro y aproximadamente hasta 762 mm (2½') por encima del fondo del revestimiento. Manténgase tensión sobre el tubo, pero evítese cualquier movimiento vertical de la punta del piezómetro.
 - **Nota 1:** En áreas donde se esperen grandes asentamientos en las fundaciones [por encima de 914 mm (3')] no se hala el revestimiento por encima de la punta del piezómetro o puede perforarse el fondo del revestimiento.
 - **Nota 2:** Si la arena se vierte muy rápidamente, podría llenarse la tubería en tal forma que cuando el tubo sea halado, también se mueva la punta.

- 11. Fórmese una capa de 25,4 mm (1") de espesor con guijarros de 12,7 mm (½") de diámetro sobre la parte superior de la arena en el revestimiento y aplíquense 20 golpes a la capa de guijarros con una caída del martillo de 152 mm (6") por golpe.
- 12. Fórmese un sello de bentonita colocando 5 capas de bolas de bentonita, cada una de 76.2 mm (3½") de espesor y compactándolas en la siguiente forma, mientras se mantiene una tensión constante sobre el tubo o sobre las guías:
 - a) Bájese el nivel del agua a 76,2 mm (3") por debajo de la parte superior del revestimiento.
 - b) Déjense caer bolas de bentonita individualmente dentro del revestimiento hasta que el agua suba a la parte superior del mismo y déjese tiempo suficiente para que las bolas alcancen el fondo (alrededor de 1 minuto para cada 3,05 m (10') de profundidad).
 - c) Déjense caer suficientes guijarros de 12,7 mm (½") de diámetro dentro del revestimiento para formar una capa de 25,4 mm (1") de espesor y déjese tiempo suficiente para que los guijarros alcancen el fondo.
 - d) Deslícese el martillo apisonador sobre la tubería plástica y, manteniendo tensión sobre la tubería, aplíquense 20 golpes a la capa de guijarros con una caída de martillo de 152 mm (6") por golpe.
 - e) Repítase este procedimiento hasta que se formen cinco capas de sello. Cuando se note que el martillo no se mueve libremente, deberá sacarse y limpiarse inmediatamente.
- **13.** Viértase suficiente arena dentro del revestimiento para formar una capa de arena de 610 mm (2') de espesor, cúbrase con guijarros y compáctese con 20 golpes de martillo.
- 14. Repítase el procedimiento descrito en el numeral 12 formando otro sello de bentonita.
- **15.** Desconéctese el tramo superior del revestimiento de tal manera que el extremo superior del mismo quede al menos a 1,52 m (5') por debajo de la superficie del terreno. Puede lograrse esto acoplando los tramos superiores del revestimiento con uniones menos apretadas que las de los inferiores. Llénense al menos 3,05 m (10') del resto del revestimiento con arena.
 - Nota 3: Una alternativa podría ser la completa remoción del revestimiento. En ese caso, los siguientes cambios serán necesarios: El revestimiento deberá halarse una longitud suficiente para permitir que se llene el espacio alrededor de la punta del piezómetro hasta aproximadamente 762 mm (2½') por encima de la punta de éste. Después de esto volverá a halarse lo suficiente para permitir que se forme la primera de las cinco capas del sello de bentonita (numerales 11 y 12); luego debe halarse de nuevo lo suficiente para permitir la colocación de la capa de 610 mm (2') de arena por encima del sello de bentonita (numeral 13) y halarse otra vez para permitir la formación de la segunda capa del sello de bentonita (14). Después de completar el segundo sello de bentonita, hálese el revestimiento en una longitud de 305 mm (1'), agréguese arena y aplíquense 20 golpes con una caída de martillo de 152 mm (6") por golpe. De esta última forma deberán colocarse 5 capas de arena, formando así un relleno de arena de 1,5 m (5') sobre el segundo sello de bentonita. Finalmente, podrá extraerse toda la tubería de revestimiento.
- **16.** Las conexiones superficiales deberán hacerse de la misma forma que las descritas en el numeral 7 b) para los piezómetros de sistema cerrado.

Instalaciones a Presión

- **17.** Perfórese a través de cualquier suelo granular o arcilla muy dura que se halle por encima de la capa de arcilla en la cual va a ser instalada la punta, con un barreno de diámetro mayor que el de la varilla o tubo de perforación al cual se va a adjuntar la punta.
- **18.** Llénese con agua el piezómetro y la longitud de tubería necesaria para conectar el nivel de la punta con la superficie del terreno.
- 19. Presiónese lentamente dentro de la arcilla la punta del piezómetro que se encuentra acoplada a la varilla, o tubería de perforación, hasta una profundidad dentro de 6,1 m (20') por encima de la cota deseada para medir la presión manteniendo con una bomba pequeña un flujo ligero de agua a través de la punta. En este punto, desconéctese la bomba y sígase presionando el piezómetro hasta alcanzar la profundidad deseada. Cada vez que se necesite agregar un tramo de varilla de perforación, debe desconectarse la bomba y taparse el extremo de la tubería, mientras se enrosca el tubo siguiente de la varilla de perforación. Debe hacerse esto tan pronto como sea posible.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

- 20. Correcciones a las lecturas de presión de poros
 - a) Piezómetros de pozo abierto llenos con agua: el exceso de presión de poros es la diferencia entre la altura del agua en el pozo y la altura general del nivel freático.
 - b) Piezómetros hidráulicos de sistemas cerrados tipo Casa-grande: el exceso de la presión de poros se determina empleando la lectura del manómetro y agregando el diferencial de la presión del agua entre la altura del manómetro y la altura del nivel freático circundante.
 - c) Piezómetros neumáticos y eléctricos: muchos de estos aparatos miden la presión total del agua en un punto y por esto el exceso de presión de poros en el suelo se determina substrayendo la diferencia entre la altura de la punta del piezómetro y la del nivel freático circundante a partir de la lectura del manómetro.

21. Interpretación de los datos

Generalmente se emplea la medición de presión de poros en suelos para estimar el aumento en la resistencia al corte o el asentamiento remanente en un suelo bajo condiciones de carga conocidas. Puesto que las presiones de poros solamente son una medida indirecta de estas características, se requiere mucho cuidado para interpretar los resultados con precisión. Deberá considerarse la siguiente información cuando se interpretan presiones de poros:

- a) La carga total aplicada y la tasa de carga.
- b) Las fluctuaciones estacionales del nivel freático circundante.
- c) Se requieren pozos de observación (piezómetros superficiales y de sistema abierto) en el área circundante, particularmente cuando haya aguas de mareas. El número y los sitios de los pozos dependen del terreno del contorno.
- d) La distribución real (tanto vertical como horizontal) de la presión de poros en los suelos que están siendo analizados, para lo cual se requieren generalmente tres o más piezómetros a distintos niveles y a tres o más a distancias diferentes a partir del centro de la carga.

Deben obtenerse los parámetros del suelo para los depósitos que están siendo analizados, a partir de ensayos amplios de laboratorio sobre muestras de suelo inalteradas.

PROBLEMAS ESPECIALES

Merecen discutirse en este método los siguientes problemas especiales, debido a su frecuente ocurrencia.

22. Casos de suelos orgánicos.

En muchos suelos orgánicos, el gas generado alrededor de la punta del piezómetro es suficiente para bloquear la entrada del agua de los poros a través del filtro al dispositivo de medida. Para evitar este problema, se dispone de piezómetros con dispositivos para remover el gas de la punta del piezómetro.

23. Asentamientos apreciables.

En áreas donde ocurran asentamientos apreciables se desarrollan numerosos problemas:

- a) Distensión de los tubos elevadores en la parte que queda por debajo del revestimiento permanente, lo cual puede evitarse instalando el piezómetro dentro del revestimiento.
- b) Distensión del elevador en la parte superior del revestimiento permanente. Se elimina esto removiendo la sección superior del revestimiento hasta alrededor de 1,52 m (5') por debajo de la superficie al terreno y rellenándola con arena.
- c) Alargamiento de las guías horizontales
 Es aceptable para muchas instalaciones, con tal de que no se hagan conexiones
 en las guías horizontales y de que éstas se elaboren con materiales que cedan
 antes de la rotura. El alargamiento de las guías eléctricas puede afectar
 adversamente la calibración de los circuitos, dando lecturas erróneas.

24. Variaciones eléctricas

La precisión de las unidades eléctricas para medir presión de poros puede depender de los cambios de temperatura, alargamiento de las guías de alambre y cambios en las características del diafragma. Es muy difícil mantener la calibración durante períodos prolongados. Hay algunas celdas de piezómetros que reducen estos problemas.

25. Sistema cerrado

A menudo los piezómetros hidráulicos pierden precisión a causa de escapes en la tubería o por generación de gas (aire disuelto). Estas condiciones pueden reducirse empleando agua "desaireada", pero cuando haya aire en el sistema, deberá removerse para que puedan obtenerse lecturas precisas. Para remover el aire, las dos conexiones horizontales deben limpiarse a chorro con un fluido de color diferente (agua), aplicando vacío en un conducto y proporcionando un suministro continuo del fluido en el otro. Los escapes de aire en el dispositivo de lectura pueden repararse, pero los que se presentan bajo el terreno generalmente no pueden localizarse ni repararse.

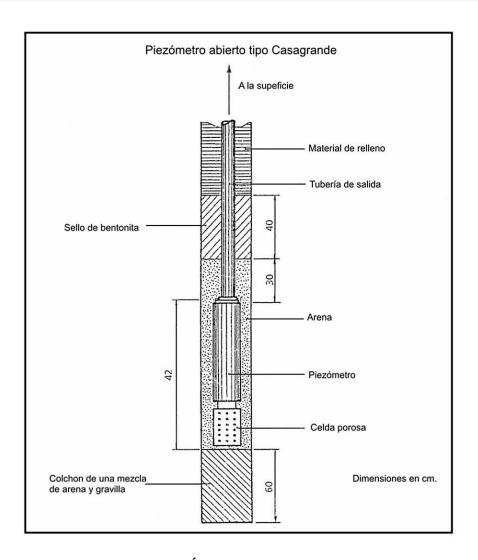


FIGURA S0406_1 PIEZÓMETRO ABIERTO TIPO CASAGRANDE

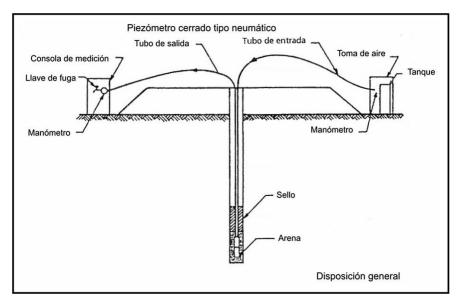


FIGURA S0406_2 PIEZÓMETRO CERRADO TIPO NEUMÁTICO

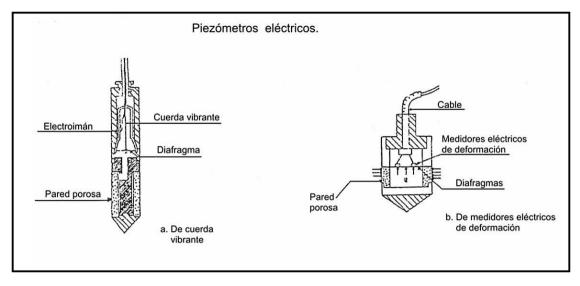


FIGURA S0406_3 PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

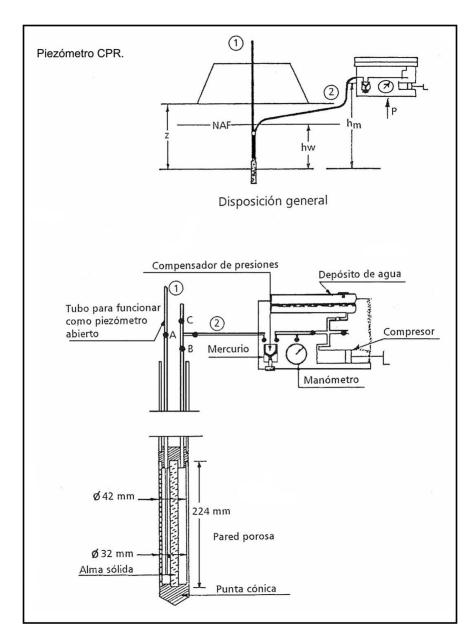


FIGURA S0406_4 PIEZÓMETRO CPR

CAPÍTULO S0407. CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS (ASTM D2435 AASHTO T216)

OBJETO

Este método se refiere al procedimiento para determinar la tasa y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se cargan y drenan axialmente.

DEFINICIONES

1. Consolidación inicial (CI)

Reducción casi instantánea en el volumen de la masa de un suelo bajo una carga aplicada, que precede a la consolidación primaria, debida principalmente a la expulsión y compresión del aire contenido en los vacíos del suelo.

2. Consolidación primaria

Reducción en el volumen de la masa de un suelo originada por la aplicación de una carga permanente y la expulsión del agua de los vacíos, acompañada por una transferencia de carga del agua a las partículas sólidas del suelo.

3. Consolidación secundaria

Reducción en el volumen de la masa del suelo, causada por la aplicación de una carga permanente y el acomodo de la estructura interna de su masa, luego de que la mayor parte de la carga ha sido transferida a las partículas sólidas del suelo.

USO Y SIGNIFICADO

La compresibilidad de los suelos determinada mediante este método, es una de las propiedades más útiles que pueden obtenerse a partir de ensayos de laboratorio. Los datos que resultan del ensayo de consolidación pueden usarse para hacer un estimativo tanto de la tasa, como de la magnitud del asentamiento diferencial y/o total, de una estructura o de un relleno. Estas apreciaciones suelen tener una importancia decisiva para elegir el tipo de fundación y evaluar su conveniencia.

EQUIPOS Y MATERIALES

4. Dispositivos de carga

Un dispositivo adecuado para aplicar cargas verticales a la muestra. El dispositivo deberá ser capaz de mantener las cargas especificadas durante períodos prolongados con una precisión de \pm 0.5 % de la carga aplicada y deberá permitir la aplicación de un incremento de carga, dentro de un período de 2 segundos sin que se produzca ningún impacto de significación.

5. Consolidómetro

Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo el cual puede estar fijado a la base o puede ser flotante (sostenido por fricción sobre la periferia de la muestra), con piedras porosas sobre cada cara de la muestra. El consolidómetro deberá proporcionar también medios para sumergir la muestra, aplicar la carga vertical, y medir el cambio de espesor de la misma. El anillo del consolidómetro deberá cumplir con los siguientes requisitos:

a) El diámetro mínimo de la muestra (anillo), deberá ser de 50 mm (2.00") y al menos 5 mm (1/4") menor que el diámetro interior del tubo de muestreo, si las muestras son sacadas por extrusión y desbastadas.

- b) El espesor mínimo de la muestra deberá ser de 13 mm (0.5") pero deberá ser menor de 10 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño.
- c) La relación mínima del diámetro al espesor de la muestra deberá ser 2,5.
- d) La rigidez del anillo deberá ser tal, bajo las condiciones de la presión hidrostática de la muestra, que el cambio del diámetro del anillo no pasará del 0,3 % del diámetro bajo la mayor carga que se aplique.
- e) El anillo deberá elaborarse de un material que no sea corrosivo en relación con el suelo ensayado. La superficie interior deberá estar altamente pulida o deberá pulirse con un material de baja fricción.

Para suelos no arenosos, puede usarse la grasa silicona o el politetrafluoroetileno.

6. Piedras porosas

Las piedras porosas podrán ser de carburo de sílice, o de óxido de aluminio, o de un metal que no sea atacado ni por el suelo, ni por la humedad del mismo. La constitución de su porosidad deberá ser lo suficientemente fina para evitar la intrusión del suelo dentro de sus poros. Si fuera necesario, podrá usarse papel de filtro para evitarlo. Sin embargo, la permeabilidad de éstas y del papel de filtro, cuando se use, deberá ser suficientemente alta para evitar retardo en el drenaje de la muestra. Las piedras deberán estar limpias y libres de grietas, astillas e irregularidades.

- a) El diámetro de la piedra superior podrá ser entre 0,2 y 0,5 mm (0.01 a 0.02") menor que el diámetro interior del anillo. Cuando se emplee un anillo flotante, la piedra del fondo deberá tener el mismo diámetro que la piedra de la parte superior. Se recomienda el uso de piedras ahusadas con el diámetro mayor en contacto con el suelo.
- b) El espesor de la piedra deberá ser suficiente para evitar su rotura. La piedra superior deberá cargarse a través de una platina resistente a la corrosión que deberá ser suficientemente rígida para evitar el rompimiento de la piedra.

7. Almacenamiento

El almacenamiento de muestras selladas deberá ser tal que no pierdan humedad durante el mismo y que no haya evidencia de secamiento parcial ni de contracción de los extremos de la muestra. El tiempo de almacenamiento deberá reducirse al mínimo, particularmente cuando se espera que el suelo o la humedad reaccionen con los tubos de muestreo.

Cuarto húmedo para la preparación de la muestra.- Las muestras deberán prepararse en un cuarto donde el cambio de la humedad no sea mayor de 0,2 %. Debe emplearse preferiblemente una cámara con humedad elevada.

8. Temperatura

Los ensayos deberán efectuarse en un ambiente donde las fluctuaciones de la temperatura no sean mayores que ± 4 °C (± 7 °F) y donde no haya contacto directo con la luz del sol.

- **9.** Cizalla ó cortador cilíndrico, para tallar la muestra hasta el diámetro interior del anillo del consolidómetro, con el mínimo de alteración. El cortador deberá tener una superficie altamente pulida y deberá cubrirse con un material de baja fricción.
- **10.** Balanza, con precisión de 0,1 g ó, a 0,1% del peso total de la muestra.

- 11. Horno, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110° ±5 °C (230 ± 9 °F).
- **12.** Deformímetro, para medir el cambio de espesor de la muestra con una precisión de 0,0025 mm (0.0001").
- **13.** Equipo misceláneo: incluye espátulas, navajas y sierras de alambre para la preparación de la muestra. Además, cronómetro (ojalá con alarma programable).
- 14. Recipientes para el contenido de humedad.

Un trapo húmedo, una membrana de caucho, o papel parafinado para proteger la muestra de pérdida de humedad debido a la evaporación.



Equipo de Consolidación

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Toma de muestras

Deberán obtenerse y emplearse muestras relativamente inalteradas para el ensayo de consolidación a causa de que la utilidad de los resultados del mismo disminuye grandemente con la alteración de la muestra. *Los Métodos S0207, a S0209*, cubren procedimientos y equipo que deben usarse para obtener muestras satisfactorias para los ensayos.

Preparación de la muestra

15. La muestra se prepara en un ambiente conforme al numeral 7. La muestra se moldeará de acuerdo con el interior del diámetro del consolidómetro, forzándola directamente dentro del mismo. Se cortará cuando haya que emparejarla con la superficie plana del anillo. En suelos blandos a medianos, deberá usarse una sierra de alambre para cortar la parte superior e inferior de la muestra con el fin de disminuir las zonas con agrietamientos. Una regla con un borde cortante podrá usarse para el corte final después de que el exceso de suelo haya sido removido

con una sierra de alambre. Para suelos duros, una regla con borde cortante podrá usarse simplemente para perfilar el fondo y la parte superior. Si se desea, el espesor de la muestra podrá hacerse menor que la altura del anillo mediante extrusión y corte, pero deberá cumplirse con el espesor mínimo de la muestra a que se refiere el numeral 5. Un anillo para muestreo con el borde cortante debidamente acondicionado proporciona el ajuste más adecuado, en muchos suelos.

Deberán tomarse precauciones para disminuir la alteración del suelo o los cambios en la humedad y peso unitario durante el transporte y preparación de la muestra, y deberá evitarse para la misma cualquier vibración, distorsión y compresión.

- **16.** Suelos orgánicos o fibrosos, como la turba y demás suelos que pueden dañarse fácilmente al ser recortados, deberán transferirse directamente del tubo muestreador al anillo, con la condición de que éste tenga el mismo diámetro de aquél.
- **17.** Podrán emplearse muestras obtenidas mediante un tubo muestreador de camisa interior, siempre y cuando cumplan con las exigencias del *Método S0207*, y con el método aquí descrito. En seguida, se determinará el peso de la muestra dentro del anillo de consolidación.

CALIBRACIÓN

- **18.** Para su calibración ármese el consolidómetro con un disco de cobre o de acero duro aproximadamente de la misma altura que la muestra de ensayo y de 1 mm (0,04") menor que el diámetro del anillo en el sitio de la muestra. Humedézcanse las piedras porosas y si se usan filtros de papel (véase numeral 6), deberán humedecerse igualmente y dejar tiempo suficiente para permitir que la humedad salga de ellos durante el proceso de calibración.
- **19.** Cárguese y descárguese el consolidómetro como si se tratara del ensayo y mídase la deformación para cada carga aplicada.
- 20. Dibújense o tabúlense las correcciones que puedan aplicarse a las deformaciones de la muestra de ensayo para cada carga aplicada. Nótese que el disco de metal puede deformarse también. Sin embargo, la corrección debida a 21. Esta deformación será despreciable para todos los suelos, excepto para los extremadamente duros. Si fuere necesario, podrá calcularse la compresión del disco de metal y aplicarse a las correcciones.

DETERMINACIONES PREVIAS AL ENSAYO

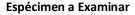
- **21.** Deberán determinarse previamente al ensayo de consolidación, las determinaciones del contenido natural de humedad, peso, volumen, peso específico, límite líquido y límite plástico, y granulometría del suelo.
- 22. Úsese el material cortado adyacente a la muestra (véase "Preparación de la muestra") para determinar el contenido natural de humedad y el peso específico de acuerdo con el *Método S0301 y S0307*, respectivamente. Determínese el peso inicial de la muestra húmeda substrayendo el peso del anillo del peso combinado del anillo y de la muestra, así como el volumen inicial de la muestra a partir del diámetro y del espesor de la misma. El contenido de la humedad de los recortes de suelo es aproximado pero permite determinar la relación de vacíos antes de completar el ensayo. La determinación exacta del peso seco de la muestra y de la humedad deberá efectuarse al final del ensayo, cuando se seque la muestra entera. Este procedimiento deberá ser usado, a menos que se necesite una porción de la muestra para los ensayos índices (véase numeral 33). En cuando al peso específico, podrá estimarse cuando no se necesite una relación de vacíos más exacta.

23. El límite líquido, el límite plástico y la granulometría, son útiles para identificar el suelo y para correlacionarlo. Se recomienda que los límites líquido y plástico sean determinados sobre recortes o sobre porciones representativas de la muestra del ensayo si el suelo exhibe una heterogeneidad significativa.

PROCEDIMIENTO

- **24.** El objetivo de la preparación de las piedras y de los restantes elementos antes de que se pongan en contacto con la muestra es el de evitar cambios en el contenido de humedad de ésta. En esta forma, suelos altamente expansivos, muy secos, deberán colocarse sobre piedras secas, pero muchos suelos parcialmente saturados podrán colocarse sobre piedras que hayan sido simplemente humedecidas.
- 25. Si la muestra está saturada y si no se cree que tenga una elevada afinidad con el agua, deberán hervirse las piedras porosas después de limpiarlas con un cepillo no abrasivo y mantenerse saturadas hasta cuando se pongan en contacto con la muestra. Ármese el anillo, la muestra y las piedras porosas. Con el conjunto del consolidómetro ensamblado, envuélvase la muestra, el anillo, el papel de filtro (cuando se use) y las piedras porosas con un plástico suelto o con una membrana de caucho para evitar el cambio en el volumen de la muestra por evaporación. Podrá omitirse esta etapa cuando la muestra se inunde después de aplicado el primer incremento de carga como se prevé en el numeral 32.







Inundación de carga

- **25.** Colóquese el consolidómetro en el dispositivo de carga y aplíquese una carga de asentamiento de 5 kPa (0,05 kg/cm²) o de 100 lb/pie². Dentro de los cinco minutos siguientes a la aplicación de ésta, ajústese el deformímetro para la lectura inicial o para la lectura de cero. Para los suelos muy blandos es deseable por lo menos una presión de (0,025 kg/cm² o 2 o 3 kPa, alrededor de 50 lb/pie²).
- **26.** Colóquense cargas sobre el consolidómetro para obtener presiones sobre elsuelo de aproximadamente 0,025, 0,05, 0,1, 0,2, 0,4 kg/cm² etc. o de 5, 10, 20, 40, 80, etc. kPa, o (100, 200, 400, 800, 1.600, etc. lbf/pie²), con cada carga mantenida constante como se describe en el numeral 28 (pueden requerirse incrementos más pequeños sobre muestras muy blandas o cuando se desee determinar con mayor precisión la carga de preconsolidación). El proceso del cargue de la muestra deberá continuarse dentro de la zona de la compresión virgen de manera que pueda apreciarse la forma de la curva en la parte correspondiente a éste.

Típicamente, una carga final igual o cuatro veces mayor que la de preconsolidación de la muestra puede ser requerida con este fin. En particular en el caso de arcillas preconsolidadas, puede ser

deseable un ciclo de carga-descarga para evaluar mejor los parámetros de recompresión, pero dicho procedimiento es opcional.







Procesos de Cargas

- 27. Al menos para dos incrementos de carga incluido uno que exceda la preconsolidación, anótese el espesor de la muestra o el cambio de ésta antes de aplicar cada incremento y con intervalos de aproximadamente 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, 1, 2, 4, 8, etc. horas, contados a partir del momento cuando se aplicó la carga. Estas lecturas de tiempo-asentamiento sólo son requeridas para muestras saturadas. Las lecturas deberán continuarse por lo menos hasta que se haga patente la pendiente de la compresión lineal secundaria característica del asentamiento, contra el logaritmo del tiempo (véase el numeral 34), a menos que se use el método del numeral 39.
- 28. En cuyo caso, la carga siguiente pueda aplicarse tan pronto como se complete el 100 % de la consolidación. Para suelos con una baja consolidación primaria, las cargas deberán mantenerse por lo menos durante 24 horas. En casos extremos o cuando quieran evaluarse las características de consolidación secundaria, deberán aplicarse durante un período más largo. Se aplica luego el incremento siguiente de carga. Cuando no se requieran datos de tiempo contra asentamiento deberá mantenerse la carga sobre la muestra esencialmente durante el mismo tiempo que cuando se hacen lecturas del tiempo contra cada deformación. Deberá disponerse de suficientes lecturas cerca del final del período del incremento de carga para permitir cualquier extrapolación de la curva de tiempo vs. asentamiento.



Toma de Lectura



Disminución de Carga

- **29.** Cuando se vayan a dibujar las deformaciones contra la raíz cuadrada del tiempo, los intervalos pueden ajustarse a aquellos que correspondan a raíces cuadradas, como por ejemplo 0,09, 0,25, 0,49, 1 minuto, 4 minutos, 9 minutos, etc.
- **30.** Rebote. Cuando se deseen conocer las características del rebote o de la descarga, deberá descargarse el suelo mediante reducciones de la carga en orden inverso. Sin embargo, si se desea, cada carga sucesiva puede ser tan sólo un cuarto de la carga que la precede. Regístrense los intervalos de tiempo como se sugirió en el numeral 28. Nótese, sin embargo, que para muchos suelos el rebote se completará en menor tiempo del que había sido requerido para un incremento de carga durante la consolidación primaria, pero deberán hacerse suficientes lecturas para verificar que el rebote esté esencialmente completo.
- **31.** Como alternativa, podrá emplearse un programa de carga, descarga y recarga, que reproduzca los cambios de esfuerzos que se presentarán durante la construcción, o que obtenga una mejor definición de alguna parte de la curva de carga-asentamiento, o que ayuden a la interpretación del comportamiento del suelo en el terreno. Esto deberá indicarse claramente en los resultados del ensayo.
- **32.** Si el ensayo se efectúa sobre una muestra inalterada saturada bajo las condiciones del terreno o que haya sido obtenida por debajo del nivel freático, deberá inundarse antes de aplicar el primer incremento de carga. A medida que ocurra la inundación y el humedecimiento de la muestra, deberá aumentarse la carga cuando fuere necesario, para evitar que se expanda, a menos que ésta tienda a hincharse bajo la carga vertical estimada en el sitio. Si la muestra se comprime después de inundada, anótese simplemente la magnitud de la compresión. También pueden inundarse las muestras a presiones que simulen una situación futura bajo las condiciones del terreno. En tales casos, la presión de inundación y cualquier efecto resultante, como la expansión o el aumento de la compresión, deberán anotarse en los resultados del ensayo.
- **33.** Puede aplicarse contrapresión para la saturación si así se desea y cuando el consolidómetro está capacitado para ello. La contrapresión deberá estimarse como sigue:
- **34.** En unidades del sistema internacional (SI):

En unidades del sistema internacional (SI):

(Profundidad de la muestra por

$$p(kg/cm^{2}) = \frac{debajo \ del \ nivel \ freatico, m) x1.000 \ kg/m^{3}}{10000cm^{2}/m^{2}}$$

En unidades del sistema inglés:

(Pr ofundidad de la muestra por

$$p(Ib/pu\lg^{2}) = \frac{debajo \ del \ nivel \ freático, pies) \ x \ 62,4 \ lb/pie^{3}}{144 \ pu\lg adas^{2}/pie^{3}}$$

Aplíquese la contrapresión mediante incremento cada 30 minutos de manera que la aplicación total se cumpla en 6 horas. La contrapresión deberá mantenerse mientras tiene lugar la saturación de la muestra (aproximadamente 3 días).

CÁLCULOS

- **35.** A partir de los incrementos de carga para los cuales se obtienen las lecturas del tiempo, dibújense las curvas: deformación contra el logaritmo del tiempo (en minutos) y contra la raíz cuadrada del tiempo, (en minutos), por cada incremento de carga a medida que progrese el ensayo, y para los decrementos del rebote.
- **36.** Hállese el asentamiento que representa el 100 % de la consolidación primaria para cada incremento de carga. Dibújese primero una línea recta a través de los puntos que representan las lecturas finales y que exhiben una tendencia recta y una inclinación suave. Dibújese una segunda recta tangente a la parte más pronunciada de la curva de log. de tiempo vs. asentamiento. La intersección representa el asentamiento primario. Corríjase la deformación para el 100 % de acuerdo con los resultados de la calibración (véase "Calibración"). La consolidación que ocurra después del 100 % de la consolidación primaria se define como consolidación secundaria.
- **37.** Hállese la deformación que representa el 0 % de la consolidación primaria. Para ello, se seleccionan dos tiempos (tB y tA) que tengan una relación de 1 a 4 (tA = 4 tB), de tal manera que la deformación correspondiente al mayor de los dos tiempos será mayor que 1/4 pero menor que ½ del cambio total de la deformación para el incremento de carga. La deformación correspondiente al 0 % de la consolidación primaria se obtiene al restar la diferencia de las deformaciones para los dos tiempos tA y tB seleccionados, del valor de deformación de tB.
- **38.** El asentamiento correspondiente al 50 % de la consolidación primaria para cada incremento de carga, es igual al promedio de los asentamientos no corregidos que corresponden al 0 y 100 %. El tiempo requerido para el 50 % de la consolidación bajo cualquier incremento de carga, puede hallarse gráficamente a partir de la curva de asentamiento-log. del tiempo para dicho incremento, observando el tiempo que corresponda al 50 % de la consolidación primaria de la curva.
- **39.** Para cada incremento de carga en el cual se obtuvieron lecturas de tiempo-asentamiento, calcúlese el coeficiente de consolidación, Cv, así:

$$Cv = \frac{0.05 \ H^2}{t_{50}}$$

Siendo:

H = Altura de la muestra en metros (pies) para una muestra con drenaje doble al 50 % de consolidación.

t₅₀ = Tiempo para el 50 % de consolidación en años, y

Cv = Coeficiente de Consolidación en m²/año (pies²/-año).

Si H está en mm. y t. en segundos o minutos, Cv quedará expresado en mm²/s o mm²/min, respectivamente, y será preferible hacer la conversión a unidades más convenientes.

40. Puede emplearse un procedimiento alterno que requiere un gráfico de deformación contra tiempo para determinar los puntos del 0 y 100 % de consolidación, así como el coeficiente de consolidación para cada incremento. La parte inicial de la curva se aproxima mediante una línea recta. Se extrapola la línea hasta t = 0. La correspondiente ordenada de deformación representa el 0 % de la consolidación primaria. Se dibuja una segunda línea recta a través de este punto de manera que la abscisa de esta línea sea 1,15 veces la abscisa de la aproximación en línea recta de la parte inicial de la curva. La intersección de esta nueva línea con la curva de deformación-raíz cuadrada del tiempo corresponde al 90 % de consolidación primaria. La deformación al 100 % de

la consolidación primaria es 1/9 mayor que la diferencia entre las deformaciones a 0 y 90 % de consolidación. Análogamente, la deformación al 50 % de consolidación primaria es 5/9 de la diferencia en las deformaciones entre el 0 y el 90 % de consolidación.

Las deformaciones correspondientes al 50 % y 100 % de consolidación deberán calcularse así:

$$D_{50} = D_0 + \frac{5}{9} \left(D_{90} - D_0 \right)$$
$$D_{100} = D_0 + \frac{10}{9} \left(D_{90} - D_0 \right)$$

 $D_{\rm 0}$, $D_{\rm 50}$, $D_{\rm 100}$ serán las deformaciones correspondientes al 0 %, 50 % y 100 % de consolidación.

El coeficiente de consolidación puede hallarse entonces a partir del tiempo del 90 % de consolidación así.

$$Cv = \frac{0.21H^2}{t_{90}}$$

Donde:

H = Espesor de la muestra en m (pies) para una muestra con drenaje doble,

t₉₀ = Tiempo para el 90 % de consolidación en años

Cv = Coeficiente de consolidación, en m²/año (pies²/año)

Si H está en milímetros y t en segundos o minutos, las unidades de Cv serán mm²/seg o mm²/min respectivamente y será conveniente la conversión a unidades más adecuadas. Si se desea, puede emplearse también el método de la raíz cuadrada del tiempo para obtener un valor de t90.

Para cada incremento de carga deberán calcularse, además los siguientes valores:

$$CI = D_{100}(c \arg a \ anterior) - D_0(c \arg a \ analisis)$$

$$CT = D_{100}(c \operatorname{arg} a \operatorname{anterior}) - D_{100}(c \operatorname{arg} a \operatorname{analisis})$$

$$\% Cl = \frac{Cl}{CT} X 100$$

Siendo:

CI = Consolidación inicial

CT = Consolidación total.

- **41.** Calcúlese la relación inicial de vacíos, la humedad, el peso unitario y el grado de saturación, con base en el peso seco de la muestra total. El volumen de la muestra se calcula a partir del diámetro y de la altura del anillo. El volumen del suelo se calcula dividiendo el peso seco de la muestra por el peso específico del suelo, multiplicado éste por el peso unitario del agua. Se supone que el volumen de vacíos es la diferencia entre el volumen de la muestra y el volumen de los sólidos.
- **42.** Calcúlese la relación de vacíos correspondiente al 100 % de la consolidación primaria (empleando las lecturas de asentamientos corregidas para cada carga). A manera de alternativa, calcúlese el porcentaje de compresión al 100 % de la consolidación primaria para cada carga a partir de la altura inicial de la muestra. Como segunda alternativa, calcúlese la relación de vacíos (o valores

del porcentaje de compresión) empleando los valores de deformación obtenidos después de un intervalo de tiempo escogido, el cual incluirá alguna parte de consolidación secundaria; dicho intervalo deberá ser el mismo para cada incremento de carga. Sin embargo, si el valor de "equilibrio" escogido es diferente al punto del 100 % de la consolidación primaria, deberá incluirse una anotación al respecto con los resultados del ensayo. Es de observar que la segunda alternativa, atrás citada, se traducirá en valores algo más bajos de la carga de preconsolidación que las obtenidas cuando se emplean puntos del 100 % de la consolidación primaria.

INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) Identificación y descripción de la muestra, con indicación de si el suelo es inalterado, remoldeado, compactado o preparado de manera diferente.
- b) Humedades inicial y final.
- c) Peso unitario seco y peso unitario húmedo, inicial y final.
- d) Grado inicial de saturación.
- e) Peso específico del suelo o límites de Atterberg y datos de granulometría si se obtuvieron.
- f) Dimensiones de la muestra.
- g) Condiciones del ensayo (humedad natural o con saturación, presión de saturación).
- h) Procedimiento usado para la preparación en relación con el corte: establecer si la muestra fue desbastada, obtenida directamente por extrusión dentro del anillo, o ensayada directamente en un anillo proveniente de un tubo de muestreador.
- i) Incrementos de carga en las cuales se hicieron lecturas de tiempo-asentamiento. Para suelos orgánicos o altamente micáceos, u otros suelos con apreciable consolidación secundaria, es recomendable que el gráfico del log. del tiempo, se extienda de manera que quede incluida la zona de la consolidación secundaria.
- j) Dibújese la curva de relación de vacíos contra el log. de la carga e indíquese en ésta la carga de preconsolidación obtenida mediante el procedimiento gráfico y también el índice de compresión Cc. o pendiente de la parte recta.
- k) Puede dibujarse opcionalmente un gráfico de deformación unitaria contra el log10. de la carga.
 - Este gráfico es idéntico en cuanto a forma a la curva e vs. Log10 p; pero la pendiente de la parte recta de la misma se denomina relación de compresión C'c.
- Cuando se desean conocer las características de expansión, deberán dibujarse las mismas curvas que para la consolidación.
- m) En caso de que las lecturas de la tasa de consolidación hayan sido tomadas para varios incrementos de carga, deberá dibujarse un gráfico del coeficiente de consolidación contra el log. de la carga. Deberá anotarse el método usado para el cálculo de Cv. Si inicialmente se obtienen lecturas para algunos incrementos de carga, tabúlense simplemente los valores de Cv contra la carga promedia para el incremento.
- n) Deberán anotarse todas las desviaciones a partir del procedimiento delineado, incluyendo secuencias especiales de cargas. Por ejemplo, puede ser deseable inundar y cargar la muestra de acuerdo con la trayectoria de humedecimiento y carga esperada en el terreno. Relaciones más pequeñas que los incrementos normales de carga pueden ser deseables también para suelos altamente sensibles o cuyo comportamiento dependa en gran parte de la tasa de deformación.

PRECISIÓN

- **43.** En "Equipos y materiales" de este método se especifica la precisión de las mediciones de carga y deformación. La precisión correspondiente de los esfuerzos aplicados y de la deformación resultante en la muestra puede calcularse a partir de las dimensiones de ésta. La precisión con la cual los resultados de ensayo puedan aplicarse al terreno varía de un caso a otro y depende de:
 - a) Calidad de las muestras empleadas.
 - b) Del número de muestras ensayadas.
 - c) De la distribución vertical y horizontal de las muestras ensayadas.
 - d) De la heterogeneidad del perfil de suelos en el sitio.
- **44.** Es necesario un método estadístico que incluya tanto el programa de muestreo como los resultados el ensayo para establecer de manera significativa la precisión con la cual pueden aplicarse los resultados en el campo. A falta de un análisis de esta naturaleza, puede estimarse la aplicabilidad de los resultados en el terreno de una manera cualitativa, teniendo en cuenta la variación en los resultados de los ensayos y las variaciones en los sondeos. Puede notarse, en general, que la precisión de las predicciones de asentamientos con base en ensayos de consolidación aumenta (sobre la base de un porcentaje) con la compresibilidad del suelo.

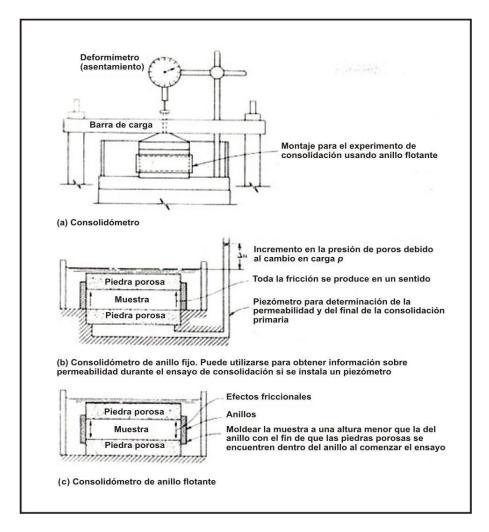


FIGURA S0407_1 DETALLES DEL MONTAJE DE ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN TÍPICO

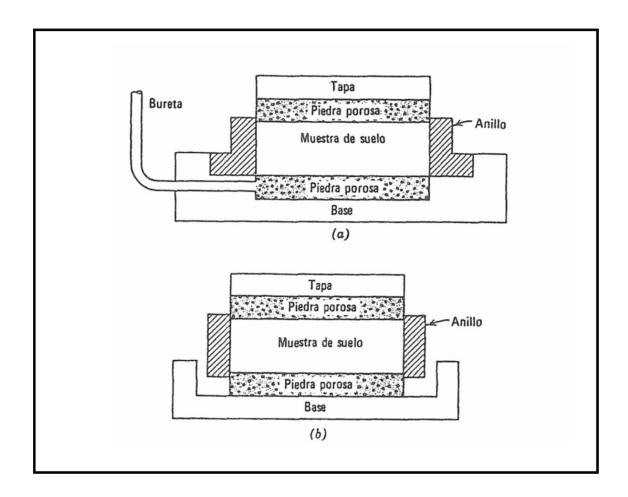


FIGURA S0407_2 FORMAS HABITUALES DE ODÓMETROS, A) DE ANILLO RIGIDO, B) DE ANILLO FLOTANTE

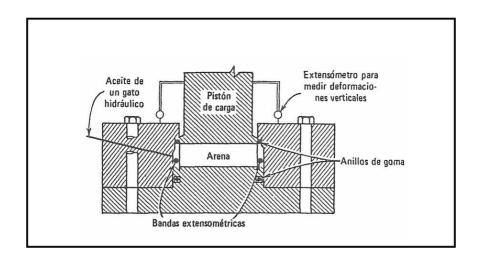


FIGURA \$0407_3 ODÓMETRO ESPECIAL QUE PERMITE MEDIR PRESIONES LATERALES

CAPÍTULO S0408. COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D2126 AASHTO T208)

OBJETO

- 1. El objeto de este método es indicar la forma de realizar el ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfinada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remoldeadas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada. Este ensayo se emplea únicamente para suelos cohesivos, ya que en un suelo carente de cohesión no puede formarse una probeta sin confinamiento lateral.
- **2.** Resistencia a la compresión inconfinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **3.** Aparato de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una precisión del 1 % de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.
- **4.** Extractor de muestras: capaz de sacar corazones de suelos; si las muestras llegan al laboratorio en tubos no abiertos longitudinalmente, es preciso que produzca poca alteración en el suelo.
- **5.** Un torno con motor o tallador de probetas de muestras inalteradas con accesorios (sierra de alambre, cuchillos, caja de ingletes, etc.).
- **6.** Moldes para preparar probetas de suelo amasado o compactado.
- 7. Aparatos para determinar la humedad de la muestra según se indica en el *Método S0301*.
- **8.** Un cronómetro, si el control de la prensa es manual.
- **9.** Un calibrador con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con precisión de 0,1 mm.
- 10. Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0,1 % de su peso total.
- **11.** Horno capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C ($230^{\circ} \pm 9$ °F).



Equipos Requeridos para el Ensayo

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

12. Dimensiones y limitaciones de la probeta

La probeta debe ser de sección aproximadamente constante, circular o cuadrada, y eje perpendicular a dicha sección. Su diámetro o lado no debe ser inferior a 35 mm (1.4") y en suelos que presentan discontinuidades se recomienda que sea de mayor tamaño. La mayor partícula contenida en su interior debe ser, como máximo, igual a 1/10 del diámetro o lado. Si, una vez terminado el ensayo, se encuentran partículas mayores que dicho tamaño, se hará constar esto, junto con los resultados.

Para muestras con diámetro igual o mayor de 71,1 mm, el tamaño de la partícula deberá ser menor a 1/6 del diámetro o lado.

La relación longitud-diámetro de las muestras para el experimento debería ser suficientemente grande para evitar interferencias de planos potenciales de falla a 45º y suficientemente corta para no obtener falla de "columna". La relación L/d que satisface estos criterios es:

2<L/d<3

a) El término probeta se aplica a la muestra ya tallada. Cuando la altura no cumpla con las dimensiones indicadas, deberá anotarse en el Informe.

b) La dimensión longitudinal de la probeta cortada debe coincidir con la dirección vertical de la muestra original.

13. Probetas inalteradas

Si se trata de muestras de tubo, hay que manejarlas con gran cuidado para evitar su alteración, cambios en la sección transversal o la pérdida de humedad.

- a) Si se teme que el dispositivo de extracción pueda dañar la muestra, puede hendirse el tubo longitudinalmente o cortarlo en trozos más pequeños para facilitar la extracción de la muestra sin alterarla.
- b) Si se trata de arcilla no dura, se recomienda, cuando sea posible, tallar la muestra para eliminar las zonas alteradas próximas a las paredes del tubo. En general, deben desecharse las partes alteradas de la muestra.
- c) En caso de disponerse de cámara húmeda, las operaciones de tallado deben realizarse en ella con el fin de que el suelo permanezca el menor tiempo posible expuesto a la pérdida de humedad. Puede emplearse un torno o tallador como el descrito en 5, y para recortar los extremos la sierra de alambre y una caja de ingletes. Para evitar el desarrollo de fuerzas capilares que se consideren importantes, en cuanto una probeta haya sido cortada, se envuelve en papel celofán o encerado, o se coloca en un recipiente hermético a menos que inmediatamente se realice el ensayo. Si lo que queda de la muestra inalterada original se va a usar otra vez, debe cubrirse nuevamente.
- d) Cuando los extremos de la probeta quedan irregulares debido a la existencia de piedras, desmoronamiento de la muestra, etc., se deben igualar las caras rellenando los pequeños agujeros con suelo de los cortes. Si se trata de muestras duras, es conveniente refrentar las caras de modo que queden perfectamente paralelas. Esto puede hacerse mediante un corte de precisión o añadiendo una cápita de azufre o material duro análogo en un "refrentador".
- e) Se determina el peso de las probetas y separadamente se toma una muestra para determinar la humedad. El peso debe excluir la capa de material utilizado para refentar la probeta.

14. Probetas Remoldeadas

Si se desea ensayar una muestra de arcilla saturada "remoldeada", por ejemplo para determinar la sensibilidad, se procede del siguiente modo: se amasa perfectamente el suelo de modo que se destruya completamente su estructura anterior. Si se desea conservar la humedad que tenía la muestra original, es conveniente envolver el material en una membrana de caucho fino durante esta operación.

- a) Para formar el espécimen puede emplearse un tubo metálico cilíndrico hueco de altura algo mayor que el doble del diámetro, en cuyo interior penetra un cilindro de madera del mismo diámetro que la probeta, cubierto con un disco de aluminio. Las paredes del tubo hueco se deben lubricar con vaselina.
- b) La probeta se moldea contra el disco de aluminio, y se hace retroceder el cilindro de madera a medida que se añade más arcilla. Hay que tener cuidado de que no se introduzca aire en la probeta durante esta operación, con el objeto de mantener el grado de saturación anterior al amasado. Cuando dentro del tubo

- haya un cilindro de arcilla de altura un poco superior al doble del diámetro, se empuja el cilindro de madera en sentido contrario para extraer la muestra.
- c) Para efectos de este método, la sensibilidad se define como el cociente entre la resistencia a la compresión simple de la muestra inalterada y la resistencia a la compresión simple de la muestra remoldeada sin pérdida de humedad. Como es inevitable que durante las operaciones citadas la muestra pierda algo de humedad, puede ser conveniente realizarlas con las manos algo húmedas, o bien obtener la resistencia de la muestra remoldeada a partir de un gráfico que relacione la resistencia y la humedad en dichas muestras.

En muchos casos, puede ser conveniente remoldear la muestra con los mismos restos de la inalterada una vez rota. En tales circunstancias, no es posible hallar la humedad en la muestra inalterada con la totalidad de la probeta.

15. Probetas compactadas

También puede compactarse una muestra en un molde a una humedad y peso unitario prefijado. Después que la probeta se haya formado, se le cortan extremos perpendiculares al eje longitudinal, se extrae del molde y se determinan su peso y dimensiones.

La experiencia indica que es difícil manejar, compactar y obtener resultados válidos con probetas que tienen un grado de humedad superior al 90 % de la saturación de la muestra de suelo.



Instrumentos necesarios para preparación de muestras para el ensayo

PROCEDIMIENTO

16. Se miden la altura y el diámetro o lado de la probeta, con una precisión de 0,1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo.





Lectura de la Altura Inicial

Lectura del Diámetro

En probetas de gran tamaño puede adoptarse una precisión menor y proporcional al tamaño de la muestra.

- **17.** Se pesa la muestra.
- **18.** Se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.
 - El ensayo podrá hacerse controlando la deformación o controlando la carga.



Pesada de la Muestra



Probeta colocada en el Disco Espaciador



Marcado del Disco Espaciador

19. Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre ½ % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que antes suceda). Se escogerá una velocidad en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos.

En el caso de materiales muy blandos que exhiben deformaciones mayores a la falla, deberán ensayarse a una tasa mayor de deformación y lo inverso para los materiales duros o quebradizos.



Velocidad de Aplicación de la Carga



Probeta Deformada (Ocurrencia de falla)

Si se trata de una probeta de suelo muy duro, en la cual la deformación a la rotura sea muypequeña, la curva esfuerzo-deformación no quedará debidamente representada en dicho gráfico.

En ese caso, es posible despreciar el aumento de sección durante la carga.

Cuando interesa hallar el módulo de deformación en probetas de suelo muy duro, es conveniente medir la deformación mediante extensómetros o por otro procedimiento que elimine las deformaciones en la base.

20. Cuando se empleen esfuerzos controlados, se aplicará la carga para que produzca una deformación axial a una tasa de ½ % a 2% por minuto y se registrarán los esfuerzos y las deformaciones cada 30 seg.



Toma de las Lecturas Reportadas por el Ensayo

La tasa de deformación se regulará en tal forma que la falla de probetas sin refrentar nunca sobrepase de 10 minutos. La carga deberá proseguirse hasta que decrezcan los valores de la

carga con el aumento de sección que se produce en la probeta durante la rotura, lo cual se traduce en una disminución del esfuerzo aplicado.

- **21.** Hágase un esquema de la forma de rotura. Si la rotura se produce a través de un plano inclinado, es conveniente medir el ángulo de inclinación de dicho plano.
- **22.** De la parte de la probeta en donde se ha producido la rotura se toma una pequeña muestra en el recipiente y se determina su humedad. También se determina la humedad de toda probeta, anotando los pesos y haciendo las operaciones que se indican en la hoja de cálculos.



Pesada de la Muestra Ensayada

CÁLCULOS

23. La deformación unitaria, se calculará con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \Delta L/Lo$$

Siendo:

 ϵ = Deformación unitaria axial para la carga dada.

 ΔL = Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación

Lo = Longitud inicial de la muestra.

24. Calcúlese la sección transversal promedio de la muestra, A, para una carga dada así:

$$A = Ao /(1-\varepsilon)$$

Siendo:

ε = Deformación unitaria axial para la carga dada

Ao = Área inicial promedio de la probeta.

$$Ao = (At + Am + Ab)/4$$

At = Área en la parte superior de la probeta

Am = Área en la parte media de la probeta

Ab = Área de la parte inferior de la probeta

El área A, puede calcularse alternativamente a partir de dimensiones obtenidas por medición directa, cuando pueden medirse las superficies de la probeta.

- **25.** Es útil preparar un gráfico que dé para cada deformación el área corregida correspondiente, de acuerdo con los diámetros iniciales de las muestras que se empleen en el ensayo.
- 26. Calcúlese el esfuerzo, c:

$$\sigma c = p / A$$

Donde:

p = Carga aplicada dada, y

A = Área de la sección promedio correspondiente.

- **27.** Prepárese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo (ordenada) y la deformación unitaria (en las abscisas). Tómese el valor mayor de la carga unitaria o el que corresponda al 20% de deformación, el que ocurra primero entre las dos, e infórmese como resistencia a la compresión inconfinada. Siempre que se considere necesario para una interpretación adecuada, se incluirá el gráfico correspondiente en el Informe.
- **28.** La resistencia a la compresión inconfinada se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en la siguiente forma:

Consistencia del Suelo	Resistencia a la Compresión Inconfinada	
	Kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0,25	(< 25)
Blanda	0,25-0,50	(25 - 50)
Mediana	0,50-1,00	(50 - 100)
Firme	1,00-2,00	(100 - 200)
Muy firme	2,00-4,00	(200 - 400)
Dura	>4,00	(> 400)

29. Mediante el peso y la humedad de la probeta se calcula el peso unitario según se indica en la hoja de cálculos.

INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- Resistencia a la compresión inconfinada.
- Tipo y tamaño del espécimen.
 - a) Inalterado
 - b) Compacto
 - c) Remoldeado
 - d) Cilíndrico o Prismático
- Relación altura-diámetro
- Descripción visual: Nombre del suelo, símbolo, etc.
- Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación (si se saturó en el laboratorio, anótese el grado alcanzado).
- Deformación promedio a la falla, en porcentaje.

- Tasa promedio de deformación a la falla, en porcentaje, y Observaciones. Anótese cualquier condición no usual u otros datos que se consideren necesarios para interpretar adecuadamente los resultados.

PRECISIÓN

- **30.** Actualmente no existe un método que permita evaluar la precisión de un grupo de ensayos sobre muestras inalteradas, debido a la variabilidad de las probetas. Muestras de suelo inalterado de depósitos aparentemente homogéneos procedentes del mismo lugar, a menudo presentan diferentes resistencias y relaciones esfuerzo-deformación.
- **31.** Aún no se ha desarrollado un método de ensayo y un procedimiento de preparación de muestras, para la determinación de la discrepancia de diferentes laboratorios, debido a la dificultad para producir probetas de suelos cohesivos idénticas. No es posible hacer estimación de la precisión en este método de ensayo.

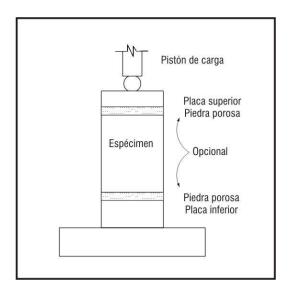


FIGURA S0408_1 ESQUEMA DE UN ENSAYO DE COMPRESIÓN INCOFINADA

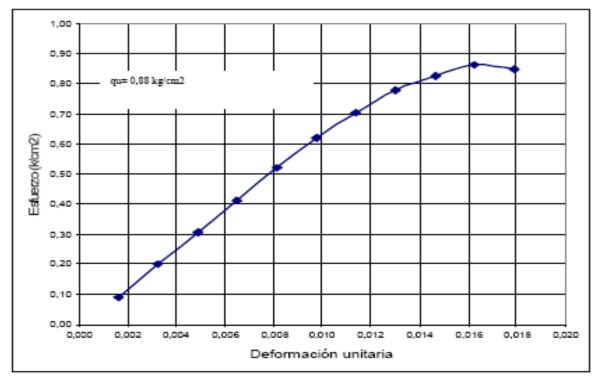


FIGURA S0408_2 DEFORMACIÓN UNITARIA VS. ESFUERZO

CAPÍTULO S0409. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL (ASTM D2850 AASHTO T234)

OBJETO

Estos métodos se refieren a la determinación de los parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión triaxial. Los métodos descritos son: el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) con o sin medición de la presión de poros; el ensayo drenado (D), y el ensayo no consolidado no drenado (UU) con o sin medición de las presiones de poros. Los parámetros obtenidos son el ángulo de fricción interna (Ø) y la cohesión (C), y cuando se midan las presiones en los poros, podrán calcularse los valores efectivos de la fricción interna y la cohesión, (Ø y C). Los valores así obtenidos pueden emplearse en diferentes análisis de estabilidad como por ejemplo en fundaciones de estructuras; en cortes y taludes o en estructuras de retención, problemas en los cuales la resistencia del suelo a corto y largo plazo, tiene importancia significativa.

Cada uno de estos métodos requerirá el ensayo de un mínimo de tres probetas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Dispositivo de carga axial

El dispositivo de carga axial puede ser cualquier aparato de compresión con la suficiente capacidad y el adecuado control, para proporcionar la velocidad de carga prescrita en el numeral 15 y en el cual sean mínimas las vibraciones debidas a su operación.

- 2. El dispositivo para medir la carga axial, puede consistir en un anillo de carga capaz de medir con precisión de 1.1 N (0.25 lb) o a valores de carga dentro del 1.0 % de la carga anticipada, cualquiera que sea la mayor. Cuando se emplee un anillo de carga, normalmente éste se hallará montado en la parte exterior de la cámara de presión. Puede emplearse también una celda electrónica para medir las cargas axiales aplicadas a la probeta de ensayo. Dicha celda deberá montarse en el interior de la cámara triaxial y, cuando se la emplee, se necesitará además el siguiente equipo electrónico accesorio para indicar la carga:
 - a) Amplificador que aumente las señales eléctricas de la cámara de carga de manera que sean suficientemente grandes para que puedan ser detectadas mediante un voltímetro digital o un registrador gráfico de tira.
 - b) Fuente de potencia de voltaje constante para excitar la celda de carga o el transductor de presión.
 - c) Puente de balanceo para balancear los circuitos eléctricos del sistema de medida.
 - d) Voltímetro digital o registrador gráfico, para medición de la carga o presión.

3. Indicador de Deformación

El indicador de deformación deberá ser un extensómetro de dial con graduaciones equivalentes a 0,02 mm (0.001") y que tenga un recorrido mínimo del 20 % de la longitud de

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

la probeta de ensayo u otro dispositivo de medida que cumpla con estos requisitos generales.

4. Equipo para tallar las probetas

Este equipo incluye un marco, herramientas apropiadas para desbastar y tallar, calibrador Vernier que pueda medir las dimensiones de la muestra con precisión de 0,25 mm (0.01"), un cortador de muestras, un dispositivo para cortar los extremos, y un extractor de muestras.

5. Aparato de presión de poros

Este aparato puede consistir en un manómetro cerrado, un indicador de cero presión, o un trans-ductor de presión. Cuando se emplee este último, podrá utilizarse con el mismo equipo electrónico usado para monitorear las cargas.

6. Horno para secamiento

Un horno termostáticamente controlado que pueda mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 \pm 9 °F) para determinar el contenido de humedad de los especímenes.

7. Balanzas.

Para muestras cuyo peso sea inferior a 100 g, deberá utilizarse una balanza con precisión de 0,01g, y para muestras de 100 g o más, una balanza con precisión de 0,1 g

8. Cámara de Compresión Triaxial

Empleada para contener el espécimen y el fluido de confinamiento, durante el ensayo. Las partes accesorias asociadas con la cámara incluyen: placa para base de la muestra, piedra porosa, dos placas lubricadas para base, anillos "O" u otro tipo de sellos, válvulas de cierre, placa superior, tubos de plástico para drenaje resistentes a la temperatura, tapa superior, pistón de carga, membrana de caucho, papel de filtro, dial con su soporte, etc.

9. Aparatos Misceláneos

Estos incluyen una bomba de vacío y un aparato de presión con sus respectivos manómetros y reguladores, un dilatador de membrana, recipientes para determinaciones de humedad, y los formatos de Informe que se requieran.

PREPARACIÓN DE PROBETAS

10. Tamaño de la probeta.

Los especímenes deberán tener un diámetro mínimo de 33 mm (1.3") y el mayor tamaño de partícula dentro de la muestra de ensayo deberá ser menor que 1/10 de su diámetro. Para muestras con diámetro de 71 mm (2.8") o más, la partícula mayor deberá ser menor que 1/6 del diámetro. Si después de la conclusión del ensayo de una muestra inalterada, se encuentran partículas de mayor tamaño, deberán hacerse las anotaciones correspondientes en el Informe. La relación altura - diámetro (H/D) debe estar entre 2 y 3, siendo preferible 2, valor que puede disminuirse hasta 1,25 cuando se usen placas lubricadas. Deberán efectuarse las mediciones con precisión de 0,10 mm (0.05") empleando un calibrador Vernier u otro dispositivo adecuado.

11. Muestras inalteradas

Pueden prepararse muestras inalteradas a partir de muestras de mayor tamaño o de muestras obtenidas de acuerdo con el *Método S0203*.

- a) Cuando se reciben tubos con muestras en el laboratorio, éstas se sacan por extrusión mediante un gato u otro método que no las altere.
- b) Se toman muestras para determinar la humedad, y se cortan especímenes de la longitud deseada; se identifica el suelo visualmente con ayuda *del método S0101* para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)], y se recubren los especímenes con parafina, manteniéndolos en una cámara húmeda y fría hasta que vayan a ser ensayados.
- c) Corte: Las muestras de tubo podrán ensayarse sin ser desbastadas, excepto para emparejar los extremos, si las condiciones de la muestra así lo exigen. Si es necesario desbastarlas, deberán manejarse con cuidado para evitar su alteración y cambios en la sección transversal o pérdida de humedad. El corte, en cuanto sea posible, deberá efectuarse en una cámara con humedad controlada procurando evitar a toda costa cualquier cambio en la humedad.

El molde del desbastador de muestras se construye en tal forma que el cortador cilíndrico se mueva verticalmente, sin movimiento horizontal alguno. El diámetro interior del cortador deberá ser alrededor de 0,13 mm (0.005") mayor que el diámetro deseado del espécimen de ensayo, excepto para una longitud de 3,2 mm (1/8") en el extremo del corte, donde dicho diámetro deberá ser igual al de la probeta. Céntrese la muestra bajo el cortador y bájese hasta la parte deseada, aflojando las tuercas de las aletas.

Después de que esté en posición, empújese el cortador lentamente hacia abajo dentro de la muestra, simultáneamente recórtese el exceso de suelo empleando un cuchillo para carne.

Cuando se haya bajado el marco a su posición final y se halle el cortador lleno con suelo, remuévase éste y sáquese por extrusión el espécimen mediante el bloque de extrusión. Para asegurar la menor alteración posible, el cortador deberá tener un recubrimiento de baja fricción.

Si la superficie de la muestra extraída no es lisa, se emplean pedazos de los recortes de suelo para llenar cualquier vacío.

Después de esto, empújese suavemente el cortador sobre la muestra para garantizar una vez más un espécimen del tamaño adecuado. Cualquier otro método de desbaste será aceptable siempre que, para el material ensayado, sólo produzca una alteración mínima en la muestra.

Colóquese el espécimen en el aparato para cortar los extremos y desbástese de manera que éstos sean perpendiculares al eje longitudinal de la muestra circular uniforme.

d) Efectúense varias medidas del diámetro y de la altura de la muestra y determínese el peso del espécimen de ensayo. Si no se emplea la muestra completa para la determinación de humedad, tómese con este objeto una muestra representativa de los recortes y colóquese inmediatamente en un recipiente cubierto.

12. Muestras Remoldeadas

Pueden prepararse especímenes a partir de una muestra inalterada fallada o de una alterada. El método de moldeo y la compactación pueden variarse para producir el peso unitario, la humedad y la estructura del suelo deseadas.

Si las muestras no son moldeadas al tamaño requerido, el equipo empleado para desbastar muestras de suelo inalteradas puede emplearse también para las de material remoldeado. Cualquier método empleado para remoldear material que muestre resultados de ensayo similares, es satisfactorio.

MÉTODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

Procedimiento

13. Prepárese el pedestal así:

- Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal.
- Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema deseado para las trayectorias del drenaje.

- 14. Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable; colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana a la altura del pedestal para proporcionar un sello efectivo; colóquense tiras filtrantes adicionales, piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos "O" u otro sello de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, para proporcionar un sello efectivo en la parte superior de la muestra.
- **15.** Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara por medio de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque, la depresión de la parte superior. Asegúrese el pistón con el dispositivo fijador.
- 16. Colóquese la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Satúrese la línea de drenaje antes de comenzar el ensayo, aplicando vacío a una línea de drenaje mientras que el extremo de la otra se halle sumergido en un recipiente con agua. Esto extrae el aire atrapado entre la muestra y la membrana y llena las líneas de drenaje con agua del recipiente. Satúrense también los cabezotes.
- 17. Aplíquese una pequeña contrapresión y una presión de cámara, aproximadamente entre 7 y 14 kPa (1 a 2 lb/pul²) mayor que la contrapresión, para hacer que fluya el agua lentamente de la línea de presión de poros. Conéctese la línea de presión de poros al aparato de medida. Auméntese la contrapresión y la presión de la cámara paulatinamente, hasta cuando la lectura de presión de poros indique que se ha logrado equilibrio en toda la muestra.
- **18.** Manténgase la presión de la cámara aproximadamente 34,5 kPa (5 lb/pul²) mayor que la contrapresión para evitar flujo entre la muestra y la membrana. Continúese aumentando la contrapresión y la presión de confinamiento hasta que la respuesta de la presión de poros indique saturación. Si no se requieren medidas de presión de poros, puede eliminarse esta etapa.
- 19. Auméntese la presión de la cámara hasta que la diferencia entre ésta y la contrapresión iguale la presión deseada de consolidación. Se requiere un mínimo de tres presiones de consolidación diferentes para definir una envolvente de falla. Permítase que la presión de consolidación se mantenga durante la noche o hasta que la lectura de presión de poros indique que se ha completado la fase de consolidación. Compruébese el grado de saturación antes de aplicar la carga axial cerrando la válvula de drenaje y aumentando la presión de confinamiento en 34,5 kPa (5 lb/pul²) o más. Calcúlese la relación del cambio de presión de poros (P) con respecto al cambio de la presión de confinamiento (3).

Para una muestra saturada:

$$(\Delta P)/(\Delta \sigma_3) = 1.0$$

20. Antes de aumentar la carga axial, ciérrese la válvula entre la cámara y la bureta, de manera que la muestra sea sometida a esfuerzo cortante en condición no drenada. Deberá medirse cualquier cambio de volumen que ocurra durante la consolidación.

Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar unos pocos minutos a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado por fricción del pistón o por empuje hacia arriba sobre el pistón, debido a la presión de la cámara Anótese la lectura cero de los aparatos de medida de carga y deformación cuando el pistón se ponga en contacto con la placa superior.

Nota1: Quítese el seguro del pistón antes de poner en movimiento el dispositivo de carga. Si la presión de la cámara no es suficiente para restringir la caída del pistón sobre el tope de la muestra, entonces la carga adicional aplicada a ésta mediante el pistón, deberá agregarse al esfuerzo desviador.

- 21. En el ensayo triaxial, la tasa de deformación deberá ser de tal magnitud que permita la igualación de la presión de poros (si se mide) en el espécimen; y puede emplearse la Tabla S0409_1 como una posible guía. Anótense las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación.
- 22. El criterio de falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. En caso de que no se presente un máximo definido y que el esfuerzo desviador continúe en aumento con la deformación, deberá tomarse la falla como el esfuerzo desviador correspondiente al 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos puede adoptarse como criterio de falla.
- 23. Después de la falla, quítense todas las presiones y drénese el fluido de confinamiento de la cámara de ensayo. Desármese el conjunto, examínese el espécimen, y hágase un esquema del modo de falla. Pésese la muestra y colóquese en un horno para secamiento con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

Cálculos

24. Suponiendo que la muestra se deforma igualmente en todas direcciones durante la consolidación, la longitud de la muestra después de dicha consolidación podrá determinarse mediante la ecuación siguiente:

$$\sum_{1} = \frac{1}{3} \sum v$$

Donde:

 $\Sigma 1 = Deformación axial = \Delta L/L$

 $\Sigma v = Deformación del volumen = \Delta V/V$

L = Longitud del espécimen determinada mediante medida física. $<math>\Delta L = Cambio de longitud del espécimen durante la consolidación.$

V = Volumen original del espécimen

 $\Delta V = Cambio de volumen medido con la bureta.$

Como alternativa, el cambio en longitud de una muestra debido a la consolidación, puede medirse directamente.

25. Calcúlese la deformación axial para una carga aplicada así:

$$\sum = \Delta L / Lo$$

Donde:

ΔL= Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indica

Lo = Longitud del espécimen después de la consolidación.

26. Calcúlese la sección transversal promedio, A, para una carga dada así:

$$A = Ao/(1 - \sum)$$

Donde:

Ao = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y

 Σ = Deformación axial para una carga dada

El área A puede también calcularse a partir de dimensiones obtenidas por medición directa mediante un catetómetro, cuando las superficies del espécimen lo permiten.

27. El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

 $\sigma d = P/A$

Donde:

P = Carga desviadora aplicada

A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

28. Gráficos.

Prepárese un gráfico que muestre la relación entre la presión de poros y la deformación unitaria, si se midieron las presiones de poros.

Dibújese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo desviador unitario (como ordenada) y la deformación unitaria, (como abscisa).

El valor máximo del esfuerzo desviador (d = 1 - 3) o la relación máxima de esfuerzos principales efectivos 1/3, se elige y usa para dibujar los círculos de Mohr; si se midió la presión de poros U, réstese de los esfuerzos principales.

Cuando todos los círculos de Mohr hayan sido dibujados, dibújese una línea que sea lo más tangente posible a todos los círculos. La intersección de esta línea con el eje de ordenadas, es el valor de la cohesión (efectiva si se midió U), C (C'), y el ángulo entre esta línea y la horizontal, es el ángulo de fricción interna, ø (ø1),(Efectivo si se midió U).

MÉTODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)

Procedimiento

- 29. Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal (Véase la Nota No.2 más adelante).
- **30.** Colóquese un disco pulido de plexiglás o de teflón ligeramente mayor que la muestra sobre la piedra porosa en el pedestal y cúbrase tal disco con una película delgada de grasa de silicona. El disco engrasado se emplea para reducir la fricción entre la muestra y la tapa del extremo y permitir así una deformación más uniforme.

- **31.** Colóquese la muestra sobre este disco. (Nota No.2). Si se usa una relación H/D de 2,0 o mayor, los discos pulidos no se necesitan.
- Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable, asegurándola con anillos en "O" u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquese un disco pulido, engrasado, una piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en "O" u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el extremo de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de la guía y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.
- 33. Colóquese la cámara con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese, mediante el regulador de presión, una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
- Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado, por fricción o por empuje, debido a la presión de la cámara. Anótese la lectura cero de los dispositivos de medida de carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de compresión.
- 35. Anótense las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños, para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. La tasa de deformación deberá hallarse dentro del rango de 0,3 a 1,0 por ciento por minuto; se recomienda una tasa de 0,5 por ciento. El criterio de falla deberá ser el del valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo.
- **36.** Si no puede establecerse un máximo definido y el esfuerzo desviador continúa aumentando con la deformación, se toma la falla como el esfuerzo desviador a un 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos, puede adoptarse como criterio de falla.
- **37.** Después de la falla, quítese toda presión y drénese el fluido de confinamiento de la cámara.
- **38.** Desmóntese el aparato de ensayo, examínese la muestra y hágase un esquema del tipo de falla; pésese para secarla con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.
 - **Nota 2:** En lugar de la piedra porosa y de los discos pulidos requeridos en el numeral 29 podrá emplearse un espaciador adecuado de plexigas pulido o de un material similar.

Cálculos

39. Calcúlese la deformación axial, para una carga dada, así:

$$\sum = \Delta L/Lo$$

Donde:

ΔL= Cambio de longitud de la muestra determinado por el indicador de deformación y
 Lo = Longitud de la muestra después de la consolidación.

40. Calcúlese el Área promedio de la sección transversal A, para una carga dada, así:

$$A = Ao/(1 - \sum)$$

Donde:

Ao = Área de la sección transversal promedio inicial de la muestra.

∑ = Deformación axial para la carga dada.

41. El esfuerzo desviador por unidad de área, d; para una carga dada es:

$$\sigma d = P/A$$

Donde:

P = La carga desviadora aplicada, y

A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

42. Dibújese la curva esfuerzo-deformación con el esfuerzo desviador como ordenada y la correspondiente deformación como abscisa.

$$\sigma 1 - \sigma 3$$

- 43. Utilícese el valor en el punto de falla para dibujar en el formato del ensayo, el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro del círculo de Mohr en un punto3que (2008 σ3) el valor
- **44.** de a lo largo del eje del esfuerzo total.
- **45.** Ensáyense al menos tres muestras diferentes del material con distintas presione laterales $(\sigma 3)$.
- **46.** Dibújense los círculos de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte al eje vertical del esfuerzo de corte.

MÉTODO DEL ESFUERZO EFECTIVO NO CONSOLIDADO-NO DRENADO (UU)

Introducción

Este método es el mismo del método consolidado no drenado (CU) con excepción de que no se deja consolidar la muestra. Esto también elimina el numeral 24.

MÉTODO DE ENSAYO DRENADO (D)

Procedimiento

- **47.** Colóquese sobre el pedestal una piedra porosa.
- **48.** Colóquense tiras de papel de filtro saturadas sobre la piedra porosa.
- **49.** Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema de trayectorias de drenaje deseado.
- **50.** Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese una membrana delgada e impermeable sobre la muestra. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo.
- 51. Colóquense tiras de papel de filtro adicionales, una piedra porosa y el cabezote superior, sobre el extremo del espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el tope de la muestra. Colóquese el cilindro "hueco" sobre la base y asegúrese.
- **52.** Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.
- 53. Colóquese la cámara de presión con la muestra en el marco de carga y llénese con fluido. Satúrese la muestra como se describió en el numeral 15. Conéctese la línea de presión de poros a la bureta, la cual indicará el gasto debido al drenaje durante el ensayo.
- **54.** Aplíquese la presión de confinamiento deseada por medio de un regulador de presión.
- **55.** Antes de que la carga sea aplicada, ábrase la válvula entre la cámara y la bureta de manera que el espécimen sea sometido a esfuerzo cortante en una condición drenada.

- **56.** El ensayo drenado deberá efectuarse lentamente para evitar que se desarrolle presión de poros. En algunos suelos esto puede tomar un tiempo excesivo. Cuando esto ocurra, puede ser deseable efectuar el ensayo mediante métodos de esfuerzos controlados. Se sugiere que la presión de poros en un extremo de la muestra sea medida periódicamente durante el ensayo, para asegurarse de que no se desarrollen presiones de poros.
- Póngase en marcha el aparato de carga y permítasele funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier fricción del pistón, o empuje hacia arriba debido a la presión de la cámara, o por ambos efectos. Pónganse en cero las lecturas de los dispositivos para medir carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de presión.
- 58. Anótense las lecturas de carga, y deformación a intervalos suficientemente pequeños para poder definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. El criterio para falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador, en el supuesto de que se produzca un máximo. En el caso de que no ocurra un máximo definido y que continúe aumentando el esfuerzo desviador con la deformación, se tomará la falla como el esfuerzo desviador al 20% de deformación. Si se miden las presiones de poros, se podrá usar como criterio de falla, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos.
- Después de la falla, elimínense todas las presiones y drénese el líquido de confinamiento de la cámara de presión. Desármese el aparato de ensayo, examínese la falla y hágase un esquema de la misma. Pésese la muestra y colóquese en un horno, para determinar la humedad y el peso unitario.

Cálculos

60. Calcúlese la deformación axial, para una carga dada así:

$$\sum = \Delta L/Lo$$

Donde:

Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación, y
 Lo = Longitud de la muestra después de la consolidación.

61. Calcúlese la sección transversal promedio, A, para una carga dada así:

$$A = Ao/(1 - \sum)$$

Donde:

Ao = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
 Σ = Deformación axial para la carga dada.

62. El esfuerzo desviador por unidad de área, d, para una carga aplicada es:

$$\sigma d = P/A$$

Donde:

P = Carga desviadora aplicada.

A = Área promedio de la sección transversal correspondiente.

Gráficos.

- **63.** Dibújense las curvas de esfuerzo-deformación y la curva de deformación-lectura de bureta.
- 60. Utilícese el valor $(de \sigma 3)$ en el punto de falla para dibujar en la hoja de informe el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro de dicho círculo $(\sigma 1 \sigma 3)$

$$(\sigma 3)$$

- **65.** 61.En un punto que tenga un valor de a lo largo del eje de esfuerzo total.
- 62. Ensáyense al menos tres muestras de materiales similares con presiones laterales diferentes. Dibújese el círculo de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos queintercepte la línea del esfuerzo de corte.

INFORME

Para cada uno de los tres tipos de ensayo el informe incluirá lo siguiente:

- a) La cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos de acuerdo con el tipo del ensayo.
- b) Ensayo ejecutado (CU, UU, D) con indicación de si se midieron las presiones de poros
- c) Tipo y forma del espécimen, esto es, inalterado, remoldeado, cilíndrico o prismático.
- d) Relación altura-diámetro.
- e) Descripción visual.
- f) Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación.
- g) Tasa promedio de deformación hasta la falla en porcentaje.
- h) Anótese cualquier condición anormal y datos que pudieran ser necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.
- i) Dibújense los círculos de Mohr y su envolvente correspondiente (linea ø).
- j) Hágase un esquema de la falla.
- k) Calcúlense para los especímenes en cada uno de los tres tipos de ensayos (CU, UU y D), los valores:

$$P = \frac{\sigma 1 - \sigma 3}{2} y Q = \frac{\sigma 1 - \sigma 3}{2}$$

- **67.** Para el tipo de ensayo correspondiente, dibújense entonces los respectivos puntos (p, q) colocando P como abscisa Q como ordenada únanse con una línea suave (llamada trayectoria de esfuerzo o línea K)
- **68.** Tómese una línea promedio a través de la curva y mídase su pendiente y la intersección a con el eje (valor de la ordenada).
- 65. Calcúlese ϕ con base en la relación sen ϕ = tan y la cohesión como sigue:

$$C = \frac{\partial}{\cos \phi}$$

70. Compárense los valores anteriores con los obtenidos a partir de los círculos de Mohr.

TABLA S0409_1

Permeabilidad	Tasa Típicas de deformación para el Ensayo			
cm/seg	Coeficiente de Consolidación cm²/seg	Tasa de Deformación axial		
		(% por minuto)		
-1x10-4 a 1x10-6	2x10-1 a 2x10-2	0,08		
1x10-6 a 1x10-7	2x10-2 a 2x10-3	0,08 con tiras filtrantes		
1x10-7 a 1x10-8	2x10-3 a 2x10-4	0,08-0,04 con tiras filtrantes		

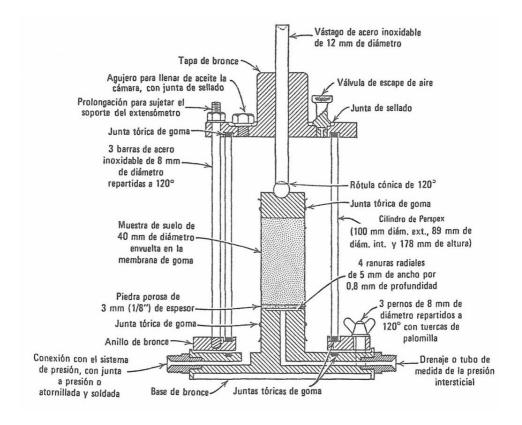


FIGURA S0409_1 SECCIÓN DE UNA CÁMARA TRIAXIAL TÍPICA

CAPÍTULO S0410. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO (CD) (CONSOLIDADO DRENADO) (ASTM D3080 AASHTO T236)

OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo.

Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y remoldeadas.

PRINCIPIO DEL MÉTODO

- **1.** El ensayo puede hacerse con un solo corte empleando un corte sencillo o doble.
- 2. El método de corte directo es apropiado para un ensayo consolidado y drenado; tiene la particularidad de que los recorridos para el drenaje a través de la muestra de ensayo son cortos y permiten mejor y más rápidamente la disipación de las presiones de poros.
- **3.** Los resultados del ensayo son aplicables en situaciones de campo, en las cuales ha ocurrido la consolidación completa bajo la sobrecarga existente y se produce lentamente la falla, de suerte que se disipa el exceso de las presiones de poros.
- **4.** El ensayo es utilizable también para la determinación de la máxima resistencia al corte y de la resistencia residual a lo largo de planos conocidos de baja resistencia en el material.
- **5.** El ensayo no es apropiado para obtener relaciones exactas de esfuerzo-deformación (en la muestra de ensayo), debido a la distribución no uniforme de los esfuerzos de corte y de las deformaciones.
- **6.** El desplazamiento a velocidad lenta permite disipar el exceso de las presiones de poros, y permite también el flujo plástico de los suelos cohesivos blandos.
- **7.** Debe tenerse cuidado para que las condiciones del ensayo sean representativas de aquellas que se están investigando.
- **8.** El ensayo consiste en:
 - a) Colocación de la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo.
 - b) Aplicación de una carga normal determinada.
 - c) Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
 - d) Consolidación de la muestra bajo la carga normal.
 - e) Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
 - f) Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra.

Generalmente se ensayan tres o más muestras, cada una bajo fuerza normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y las deformaciones. El intervalo de las cargas normales debe ser apropiado para las condiciones del suelo investigado.

EQUIPOS Y MATERIALES

9. Dispositivo de carga

El dispositivo de carga debe ceñirse a lo siguiente:

Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.

Estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- a) Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- b) Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- c) Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- d) Sumergir la muestra en agua.
- e) Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte único) o de planos (corte doble) paralelos a las caras de la muestra.
- f) Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.
- g) Las diferentes partes del dispositivo deben ser de un material resistente a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o por la humedad del mismo.

10. Piedras porosas

Las piedras porosas deben ceñirse a lo siguiente:

- a) Deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo.
- b) Dependiendo del tipo de suelo que se va a ensayar, las piedras porosas deben tener la calidad adecuada para desarrollar el contacto necesario con la muestra y, además, deben evitar la intrusión excesiva de partículas de suelo dentro de sus poros.
- c) Para ensayos con suelos normales, la calidad de las piedras debe permitir una permeabilidad de 0,5 mm/seg a 1 mm/seg.

11. Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal

Debe estar capacitado para aplicar rápidamente la fuerza especificada sin excederla y para mantenerla con una precisión de \pm 1 % durante el proceso de ensayo.

12. Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte

- a) La capacidad depende más que todo del tipo de control: con control de deformaciones o con control de esfuerzos. Se prefiere generalmente el primero por la facilidad para determinar, tanto el esfuerzo último, como la carga máxima.
- El equipo con control de deformaciones debe tener la capacidad para cortar la muestra a una velocidad de desplazamiento uniforme, con una desviación de ± 10 % y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento dentro de un rango más o menos amplio.
- c) La velocidad de aplicación de la carga, depende de las características de consolidación del suelo. (Véase numeral 42). Se logra usualmente por medio de un motor con caja de transmisión y la fuerza de corte se determina por medio de un indicador de carga.
- d) Si se usa el equipo con control de esfuerzos, debe ser capaz de aplicar la fuerza de corte sobre la muestra con incrementos de carga y grado de precisión, como se especifica en el numeral 14.

13. Cuarto húmedo

La pérdida de humedad durante la preparación de la muestra no deberá exceder de 0,5 %, tanto para su almacenamiento como para su preparación.

14. Equipo para el corte de la muestra

Debe ser adecuado para tallar la muestra de acuerdo con las dimensiones interiores de la caja de corte con un mínimo de alteración. Puede necesitarse un soporte exterior para mantener en alineamiento axial una serie de 2 o 3 anillos.

15. Balanza

Debe tener una precisión de 0,1 g o 0,1 % del peso de la probeta.

16. Deformímetros

Deben ser adecuados para medir los cambios en el espesor de la muestra con una precisión de 0,002 mm (0.0001") y la deformación con precisión de 0.02 mm (0.001").

17. Horno de secado

Capaz de mantenerse a 110 °C ± 5 °C (230 ±9 °F).

- **18.** Recipientes para muestras de humedad.
- **19.** Equipo para el remoldeo o compactación de probetas.

20. Otros equipos

Incluyen: cronómetro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada y demás elementos necesarios.



Equipo de Corte Directo

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- 21. Si se usa una muestra inalterada, debe ser suficientemente grande para proveer un mínimo de tres muestras idénticas.
- **22.** La preparación de la muestra debe efectuarse de tal manera que la pérdida de humedad sea insignificante.
- **23.** La muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo.
- **24.** Para muestras inalteradas de suelos sensibles, debe tenerse extremo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural.
- **25.** Se determina el peso inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo con el Método S0301.
- 26. Si se utilizan muestras de suelos compactados, la compactación debe hacerse con las condiciones de humedad y peso unitario deseados. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor para recortarlas de acuerdo con el numeral 25.
- 27. El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50 mm (2").

 Para minimizar las alteraciones causadas por el muestreo, el diámetro de las muestras obtenidas de tubos sacamuestras debe ser, por lo menos, 5 mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.
- 28. El espesor mínimo de la muestra de ensayo, debe ser alrededor de 12 mm (½"), pero no menor de un sexto el tamaño máximo de las partículas del suelo.
- **29.** La relación mínima diámetro/espesor o ancho/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.

CALIBRACIÓN

- **30.** Se ensambla el dispositivo de corte directo (sencillo) con un disco metálico de calibración, de espesor igual al de la muestra de ensayo deseada y alrededor de 5 mm (1/5") menor en diámetro.
- **31.** El dispositivo de corte doble, requiere dos discos de calibración.
- 32. Se aplica la fuerza normal igual a la fuerza que se va a utilizar en el ensayo y se coloca el indicador de desplazamiento normal. Se ajusta este indicador de tal manera que pueda usarse para medir tanto lecturas de consolidación como de expansión.
- 33. Se registra la lectura del indicador de deformación normal, como una futura referencia para determinar, tanto el espesor de la muestra de ensayo, como la deformación desarrollada por el conjunto.
- **34.** Luego, se retira el disco de calibración. Se puede aceptar cualquier otro método que permita la calibración exacta del aparato.

PROCEDIMIENTO

35. Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados y se bloquea. Se aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y reducir la fricción durante el corte. Pueden también usarse espaciadores o superficies recubiertas con tetrafluoretileno-fluoruro carbono, para reducir la fricción durante el corte.



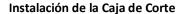
Preparación de la Muestra

36. Se introduce la muestra de ensayo con sumo cuidado. Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el deformímetro para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra y luego se determina el espesor inicial. La costumbre de humedecer las piedras porosas antes de la colocación y aplicación de la fuerza normal sobre las muestras, dependerá del tipo de problema en estudio.

Para muestras inalteradas obtenidas bajo el nivel freático, deben humedecerse las piedras.

Para suelos expansivos se debe efectuar el humedecimiento después de la aplicación de la fuerza normal, para evitar expansiones que no son representativas de las condiciones de campo.







Colocación de Puente de Carga sobre la Muestra

37. Se debe permitir una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada. Después de aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, permitiendo el drenaje y una nueva consolidación de la misma. El nivel del agua se debe mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal manera que la muestra esté saturada en todo momento.



Saturación de Muestra con Agua

28. La fuerza normal que se aplique a cada una de las muestras depende de la información requerida. Un solo incremento de ella puede ser apropiado para suelos relativamente firmes. Para los demás suelos pueden ser necesarios varios incrementos con el objeto de prevenir el daño de la muestra. El primer incremento dependerá de la resistencia y de la sensibilidad del suelo. En general, esta fuerza no debe ser tan grande que haga fluir el material constitutivo de la muestra por fuera del dispositivo de corte.







Toma de Lectura

- **39.** Durante el proceso de la consolidación deben registrarse las lecturas de deformación normal, en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.
- **40.** Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza normal especificada.
- **41.** Se representan gráficamente las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.
- **42.** Corte de la muestra.

Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos separándolos proximadamente 0,25 mm (0.01"), para permitir el corte de la muestra.



Separación de los marcos de corte

Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros.

Para determinar la velocidad de aplicación de la carga hasta la falla, se puede emplear la siguiente expresión:

Tiempo para falla = 50t50

Dónde:

t50 = Tiempo requerido por la muestra para lograr el 50 % de consolidación bajo la fuerza normal.

En el ensayo con control de deformaciones, la velocidad de aplicación de cargas puede determinarse, aproximadamente, dividiendo la deformación estimada de corte, durante el esfuerzo máximo de corte, por el tiempo calculado para la falla.

Se continúa el ensayo hasta que el esfuerzo de corte sea constante, o hasta que se logre una deformación del 10 % del diámetro o de la longitud original.

En el ensayo con control de esfuerzos, se comienza con incrementos de la fuerza de corte de aproximadamente un 10 % de la máxima estimada.

Antes de aplicar un nuevo incremento, se permitirá por lo menos un 95 % de consolidación bajo el incremento anterior.

Cuando se ha aplicado del 50 % al 70 % de la fuerza de falla estimada, los nuevos incrementos serán de la mitad del valor de los aplicados hasta ese momento, o sea el 5 % de la máxima fuerza de corte.

En la proximidad de la falla, los incrementos de la fuerza pueden ser iguales a un cuarto del incremento inicial (2,5 % de la fuerza normal de corte estimada).

Se debe llevar registro de la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte debe ser continuo.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en el horno y se determina el peso de los sólidos.



Desmontaje de la Muestra



Muestra secada en el Horno

CÁLCULOS

- **43.** Calcúlense los siguientes valores:
 - a) Contenido inicial de humedad.
 - b) Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
 - c) Esfuerzos de corte.
 - d) Relación de vacíos antes y después de la consolidación y después del ensayo de corte, si se desea.
 - e) Los grados de saturación inicial y final, si se desea.

INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) Descripción del tipo de dispositivo utilizado en el ensayo.
- b) Identificación y descripción de la muestra, incluyendo si el suelo es inalterado, remoldeado, compactado o preparado por otros medios, anotando cualquier característica no usual, referente por ejemplo a la estratificación.
- c) Contenido inicial de agua.
- d) Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- e) Espesor inicial.
- f) Se deben registrar todos los datos básicos del ensayo, incluyendo el esfuerzo normal, desplazamiento de corte y los valores correspondientes de la resistencia al corte máximo y residual cuando se indique, así como los cambios de espesor del espécimen.
- g) Para cada probeta de ensayo se debe elaborar la curva esfuerzo de corte y deformación unitaria en un gráfico con escalas aritméticas.
- h) Debe prepararse, igualmente, un gráfico que incluya los valores para las tres probetas de las fuerzas normales contra la resistencia al corte y determinar, a partir del mismo, los valores efectivos del ángulo de fricción ø, y de la cohesión, c.(Véase Figura S0410_3 y S0410_4)
- i) En el mismo gráfico anterior podrán incluirse los valores de las resistencias al corte residuales e indicar el ángulo de fricción interna residual ø; y de la cohesión c' si la hubiere.
- **44.** Se debe incluir el plan general de procedimiento, así como secuencias especiales de carga o requisitos especiales de humedad.

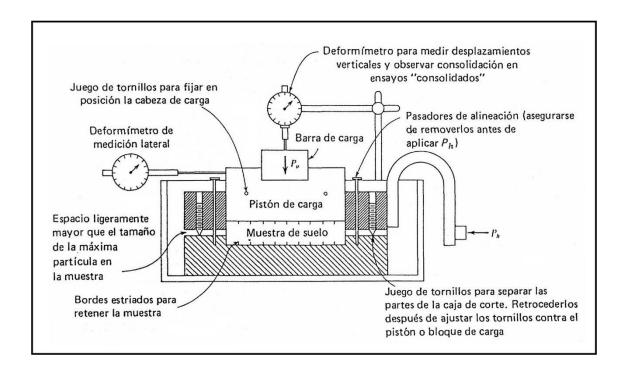
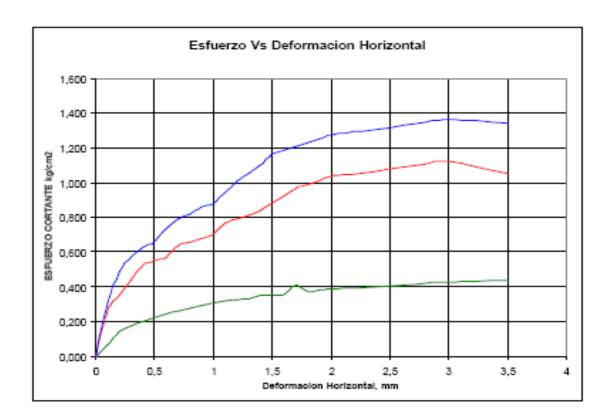


FIGURA \$0410_1 DETALLES DEL ENSAYO Y LA CAJA DE CORTE DIRECTO

Proyecto			Trak	oajo No				
	n del proyecto		Perf	oración No.	Muestra	No.		
	del suelo							
				Fecha de la practica				
Estado del s	suelo (húmedo,	seco) Muestra	a de suelo (inalt	erada, altera	ada).			
Datos para	obtener la dens	idad de la mue	estra si no es ir	alterada				
Peso inic	ial recipiente +	suelo =			Datos para	el contenido (de humed	
Peso final recipiente + suelo =				Peso suelo húmedo + lata =				
Peso de suelo usado =								
						la lata =		
Datos de la muestra para corte			ara corte			el agua =		
	Dime	ensiones de la	muestra:		Peso del suel	o seco =		
	Diam. o lado) =		Conteni	do de humeda			
		1 =						
	Área	1 =						
	Vol	.=						
De					γ .	seco =		
	ensidad: Vhimedo							
	ensidad: γ _{húmedo} al =	-		Esfuerzo nor	mal =			
	ensidad: 7 _{húmedo} al =	-	I		mal = el anillo		_	
Carga norm	al =		I	Constante de	el anillo			
Carga norm			I	Constante de				
Carga norm	al =		I	Constante de	el anillo			
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	I	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro	e carga = Desplazamiento vertical	Lectura del deformimetro	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de de carag Área corregida,	el anillo =	Fuerza de corte	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal		
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	
Carga norm Velocidad d Lectura del deformimetro vertical	e carga = Desplazamiento vertical ΔV	Lectura del deformimetro horizontal	/min d Desplazamiento horizontal	Constante de carag Área corregida, A'	el anillo =	Fuerza de corte horizontal	7div.	

FIGURA S0410_2 FORMULARIO TIPO



IGURA S0410_3 ESFUERZO DE CORTE VS. DEFORMACIÓN HORIZONTAL

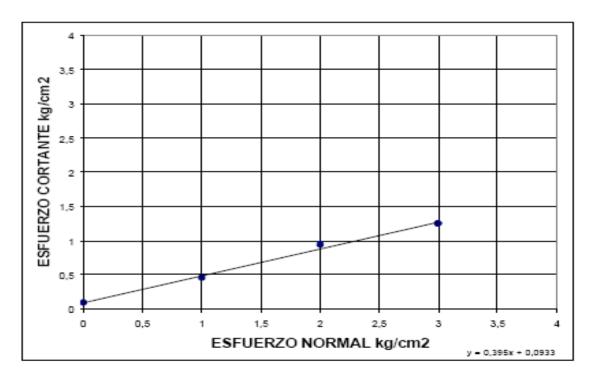


FIGURA S0410_4 ESFUERZO NORMAL VS. ESFUERZO CORTANTE

CAPÍTULO S0411. RESISTENCIA NO DRENADA EN ESPECÍMENES DE ROCAS MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL SIN MEDIR PRESIONES DE POROS (ASTM 2664 AASHTO T 226)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia de una probeta de roca, en estado no drenado, sin medir presiones de poros, empleando compresión triaxial.

El método proporciona los datos para la determinación de la resistencia total y de las propiedades elásticas de las rocas (resistencia al esfuerzo cortante, variación lateral de la presión, ángulo de fricción interna, valor de la cohesión y módulo de Young).

La determinación de la resistencia de la roca, es función de la presión de confinamiento; este método es comúnmente usado en la simulación de las condiciones de resistencia prevalecientes en una masa de roca en estado natural.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Dispositivo de carga
 - Un dispositivo adecuado de aplicación y medida de la carga axial en la probeta. Este debe ser de una capacidad suficiente para la aplicación de carga a una tasa conforme a lo especificado en el numeral 11, verificándose un adecuado intervalo de tiempo.
- Dispositivo para mantener la presión Debe constar de una bomba hidráulica, un amplificador de presión u otro sistema con suficiente capacidad, para mantener constante la presión lateral deseada 3.
- **3.** Cámara de compresión triaxial

Debe ser un aparato donde la probeta para el ensayo pueda quedar encerrada dentro una membrana flexible e impermeable, colocada entre 2 platinas, una de las cuales debe tener un soporte esférico. El espécimen debe someterse a una presión hidráulica lateral constante y luego cargarse axialmente hasta la falla.

Las platinas deben ser hechas de acero endurecido (acero para herramientas) con una mínima dureza de 58 NDRC. Cuando las platinas son nuevas, las caras de apoyo no deben permitir un distanciamiento del plano de la superficie de contacto en más de 0,0127 mm (0.00050"); para platinas que hayan sido utilizadas, el distanciamiento debe ser inferior a 0,025 mm. (0.001").

Adicionalmente, consta de un cilindro de alta presión con una válvula de alivio, una base y orificios adecuados de acceso para el llenado del cilindro con un fluido hidráulico. Para la aplicación de la presión lateral, contará con mangueras, manómetros y las válvulas que sean necesarias.

4. Dispositivos para medir la deformación

Diales micrométricos de alta precisión u otros aparatos exactos para medir con unidades de 0,0025 mm (0.0001"), con una precisión de 0,0025 mm (0.0001") para cualquier medición hasta de 0,025 mm (0.0010") y de 0,005 mm (0.0002") para cualquier medición hasta de 0,25 mm (0.0100"), para medir la deformación axial debida a la carga. Estos pueden consistir en micrómetros de tornillo, diales micrométricos o transformadores diferenciales de variación lineal que deben estar sujetos de modo seguro al cilindro de alta presión.

-También puede usarse un deformímetro (celda de presión) aplicado directamente en la probeta de roca en dirección axial, para medir eléctricamente la resistencia. El uso del deformímetro ajustado lateralmente, permite la obtención de datos necesarios para el cálculo de la relación de Poisson.

5. Membrana flexible

Debe ser de un material que permita separar el fluido continuamente de la probeta y no debe estar adherida fuertemente a la superficie rugosa de la misma. Debe ser suficientemente larga para que cubra la platina y cuando se presione ligeramente debe conservar el mismo diámetro de la probeta.

6. Láminas de calibración.

PREPARACIÓN DE LA PROBETA

7. Dimensiones

La probeta para el ensayo debe ser un cilindro circular recto, dentro de los criterios siguientes:

Relación de la longitud al diámetro (L/D) entre 2 y 2,5.

El diámetro de la probeta debe ser como mínimo 10 veces más grande que el mayor tamaño de los granos minerales constituyentes.

Nota1: Se considera que las probetas obtenidas mediante coronas NX (1-15/16") satisfacen el anterior criterio.

8. Tolerancias

Rectitud: Las caras de la probeta deben estar pulidas con tolerancia de 0,5 mm de lo especificado y libres de irregularidades abruptas; con todos sus elementos rectos dentro de la longitud total de la misma. La desviación de la rectitud de la probeta deberá determinarse por el método A ó el B.

a) Método A

Se coloca la probeta sobre su superficie cilíndrica en el banco del bloque en V. Se monta el medidor de dial en la cima de la probeta y se mueve la probeta desde un extremo del bloque en V hasta el otro lado, a lo largo de una línea recta, se registra el máximo y el mínimo de las lecturas con el medidor de dial y se calcula la diferencia Se repite la misma operación

rotando la probeta 90° y obteniendo los valores $\Delta 90$, Δ 180 , Δ 270. El máximo valor debe ser menor que 0,5 mm (0.02").

b) Método B

La probeta cilíndrica debe girarse sobre una superficie plana y lisa, midiendo la altura de la máxima separación entre la probeta y la superficie plana por medio de las láminas de calibración.

Si la máxima separación excede de 0,5 mm, (0.020"), la probeta no está dentro de las tolerancias requeridas de rectitud del elemento. La superficie lisa en que es ensayada la probeta no debe tener un error de condición llana de más de 15 μ m (0.0006").

Llanura y perpendicularidad.- Se deben cortar los extremos de la probeta paralelamente uno a otro, formando un ángulo recto con el eje longitudinal, deben estar pulidos con un error de llanura de 25 μ m y no se deben apartar de la perpendicularidad en más de 0,25° o aproximadamente 0,25 mm (1/10") en 51 mm (2"). La perpendicularidad de la superficie de los extremos con respecto al eje longitudinal se debe determinar por el método C ó el método D.

c) Método C

Se debe instalar el dispositivo que sostiene el medidor de dial, de tal modo que éste último toque y se desplace sobre el extremo de la probeta a lo largo de una dirección diametral. Se debe tener cuidado para que un extremo del dispositivo de montaje del medidor mantenga un íntimo contacto (p-q) con un extremo del bloque en V durante el movimiento. Se registra la lectura del medidor del dial y se calcula la diferencia entre los valores máximo y mínimo, cuya diferencia se denomina como Δ l. Se rota la probeta en 90° y se repite la operación calculándose la diferencia Δ 2. Se debe repetir el mismo procedimiento en el otro extremo, obteniéndose la diferencia de los valores Δ 1 y Δ 2. Se considera que el requisito de perpendicularidad, en cada extremo, se cumple cuando,

$$\Delta 1/diámetro$$
 y diámetro ≤ 0.005

La condición llana de la superficie de los extremos se puede determinar tomando lecturas del medidor del dial en cada 3,2 mm a lo largo de cada diámetro, cuando se está realizando la medida de perpendicularidad. Uniendo todas las lecturas se forma una curva de deformación del diámetro. La tolerancia de llanura se cumple cuando la curva así determinada no se aparte de una línea recta en más de 25 µm. Se debe girar la probeta 90° alrededor de su eje longitudinal y repetir la misma operación, verificando la tolerancia sobre el nuevo plano diametral. Se debe repetir la operación sobre el otro extremo.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

d) Método D

Se debe recorrer el medidor de dial sobre el extremo de la probeta el cual está asegurado al bloque en V, y hacer las medidas por lo menos en 3 líneas diametrales. La variación de la lectura debe ser de 0,1 mm en 20 mm. La condición de llanura se debe medir en igual forma que el método C.

Condiciones de humedad.- La condición de humedad de la probeta en el momento de la prueba puede tener un efecto significativo en la resistencia de la roca. Se deben probar muestras con diferentes contenidos de humedad incluyendo el cero. En cualquier caso, el contenido de humedad de la probeta debe tenerse en cuenta en el ensayo, y debe ser incluido de acuerdo con el punto "Informe".

PROCEDIMIENTO

- **9.** Se instala la platina inferior, limpia, sobre la base; las caras superior e inferior de la probeta se limpian; se coloca la probeta sobre dicha platina, y se monta la platina superior.
- **10.** Se coloca la membrana flexible cubriendo la probeta y la platina, sellándola con una cinta o con un anillo de neopreno o caucho para mantener la probeta aislada del fluido.
- **11.** Se coloca el cilindro sobre la probeta, asegurando un ajuste adecuado en las bases y se conectan los dispositivos de presión hidráulica.
- **12.** Se coloca el dispositivo medidor de deformación y se llena la cámara con el fluido hidráulico.
- **13.** Se aplica una carga axial aproximada de 111N (25 lb) a la cámara de compresión triaxial, con el fin de asegurar adecuadamente las partes del aparato.
- 14. Se toma una lectura inicial de deformación. Se incrementa suavemente la presión del fluido hasta el nivel predeterminado para la prueba, y al mismo tiempo se aplica suficiente carga axial para prevenir la deformación causada por la desviación de la lectura inicial.
- **15.** Cuando se alcanza el nivel de presión establecido, se anota la carga axial aplicada y se considera que esta carga es el cero o la carga de iniciación de la prueba.
- **16.** Aplíquese continuamente una carga axial sin impactos ni cambios bruscos, hasta que la carga sea constante o hasta alcanzar una tasa de deformación predeterminada.

- 17. Aplíquese la carga de tal manera que produzca una tasa de deformación tan constante como sea posible a través de toda la prueba, no permitiendo que en ningún momento se desvíe en más del 10% del valor seleccionado.
- 18. La tasa de deformación escogida, puede ser aquella con la cual se produzca la falla de una probeta similar, en un ensayo inconfinado y en un tiempo entre 2 y 15 min. La velocidad seleccionada para un determinado tipo de roca, debe conservarse en todas las pruebas, para una determinada investigación.
- **19.** Se debe mantener constante la presión predeterminada de confinamiento (3) a través del ensayo, registrando las lecturas de deformación.
- **20.** Para asegurar que el fluido de prueba no penetre dentro de la probeta, la membrana debe ser cuidadosamente revisada para determinar los huecos o fisuras que deban corregirse en cada prueba; si se considera necesario, se pesa la muestra antes y después de cada ensayo.

CÁLCULOS

- 21. Se debe dibujar una curva colocando en la abscisa la diferencia de presión y en las ordenadas la deformación axial. La diferencia de presión se define como la presión axial principal máxima 1, menos la presión lateral 3. El valor de la presión lateral 3 se deberá indicar en la gráfica.
- 22. Se debe dibujar el círculo de resistencia de Mohr en un gráfico, con escalas aritméticas, con la resistencia al corte en la ordenada y el esfuerzo normal en la abscisa. Son necesarios por lo menos 3 ensayos de compresión triaxial, cada uno con una presión de confinamiento diferente sobre el mismo material, para definir la envolvente del círculo de los esfuerzos de Mohr.
 - **Nota 2:** A causa de la naturaleza heterogénea de la roca y de la dispersión de los resultados hallados, a menudo son necesarios al menos tres ensayos de especímenes esencialmente idénticos para cada presión de confinamiento diferente, o nueve ensayos sencillos a distintas presiones, que cubran el intervalo investigado, para determinar la envolvente.
- 23. Se dibujará entonces la envolvente más ajustada (envolvente de Mohr). Además, debe incluir una descripción gráfica del plano o planos de falla y de su inclinación con respecto al plano del esfuerzo principal mayor.

INFORME

Deben incluirse los siguientes datos:

- a) Origen de la probeta, nombre y localización del sitio, condiciones ambientales de su almacenamiento, si se conocen, diámetro y profundidad de la probeta en la perforación.
- b) Descripción física de la probeta incluyendo el tipo de roca; localización y orientación de los planos aparentemente débiles; planos de estratificación y fisuras; inclusiones grandes o falta de homogeneidad, si las hubiere.
- c) Datos del muestreo y de la prueba.
- d) Diámetro y longitud de la muestra de acuerdo con los requisitos dimensionales.
- e) Velocidad de carga o deformación.
- f) Indicaciones generales de las condiciones de humedad de la probeta durante el ensayo, estado en que se recibe, fisuración y condiciones de secado. Se recomienda que las condiciones de humedad y el grado de saturación, se deban determinar de la manera más precisa posible.
- g) Definición del tipo y localización de la falla, recomendando presentar un esquema de la muestra fallada.
- h) Se debe incluir una memoria de los cálculos efectuados en el punto anterior.

CAPÍTULO S0412. MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUB-RASANTE (AASHTO T274)

OBJETO

- 1. Este método cubre los procedimientos normalizados para la determinación del módulo elástico-dinámico (de resiliencia) de los suelos. Incluye la preparación y ensayo de suelos no tratados, bajo condiciones que representan una simulación razonable de las características físicas y de los estados de esfuerzos de los materiales de la sub-rasante, bajo pavimentos flexibles sometidos a las cargas debidas al tránsito.
- 2. Los métodos descritos, son aplicables a muestras inalteradas de materiales naturales, a muestras compactadas de sub-rasante y a muestras transportadas, preparadas para ser ensayadas, por compactación en el laboratorio.
- 3. Los valores del módulo resiliente (elástico-dinámico) determinados con estos procedimientos, pueden ser empleados en las teorías de sistema de capas elástico-lineales y elástico-no lineales, para calcular la respuesta física de las estructuras de pavimentos.

USO Y SIGNIFICADO

- **4.** El ensayo de módulo resiliente, proporciona la relación básica constitutiva entre esfuerzo y deformación, de los materiales de construcción de pavimentos flexibles para su empleo en el análisis del sistema de capas en pavimentos.
- **5.** También, proporciona un medio de evaluación de los materiales de construcción de pavimentos, incluyendo suelos de sub-rasante, bajo una variedad de condiciones ambientales y de estado de esfuerzos, que simulen realísticamente las situaciones existentes en pavimentos sometidos a cargas móviles del tránsito.
- **6.** $\sigma 1$ =Esfuerzo axial total (esfuerzo principal mayor).
- **7.** σ3 =Esfuerzo radial total; esto es, la presión de confinamiento aplicada en la cámara triaxial (esfuerzo principal, intermedio y menor).
- 8. $\sigma d = \sigma 1 \sigma 3 = Esfuerzo desviador; esto es, el esfuerzo axial repetido para este procedimiento.$
- **9.** E1 = Deformación axial total debida a σd .
- **10.** Er = Deformación axial resiliente (recuperada).

- 11. Mr = od /Er es el módulo resiliente, esto es, la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación que puede substituirse, en procedimientos analíticos que incluyen cargas de tráfico dinámico y requieren de un módulo de elasticidad.
- **12.** Duración de la carga = Intervalo de tiempo durante el cual el espécimen es sometido a un esfuerzo desviador.
- 13. Duración del ciclo = Intervalo de tiempo en que transcurren las aplicaciones sucesivas de un esfuerzo desviador.

Tanto w como S pueden expresarse con un decimal o como un entero, esto es 20% puede representarse como .20 ó 20, pero es necesario que haya consistencia entre los dos.

14.
$$\rho_d = \frac{G \cdot \rho_w}{1 + (wG/S)}$$

Donde:

 ρ_d = Peso unitario del suelo seco, Kg/m3 (lb/pie3)

G = Peso específico de los sólidos

w = Contenido de agua del suelo (%).

S = Grado de saturación (%)

ρ_w = Peso unitario de agua, Kg/m3 (lb/pie3)

EQUIPOS Y MATERIALES

14. Cámara de compresión triaxial.- La cámara de compresión triaxial se utiliza para contener la muestra y el fluido de confinamiento durante el ensayo. En la Figura S0412_1 se muestra una cámara adecuada para emplear en el ensayo de resiliencia de suelos. La cámara es similar a muchas celdas triaxiales normales, excepto que es algo más grande para facilitar la carga montada internamente y el equipo de medida de la deformación, y que tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medida.

Pueden emplearse celdas triaxiales normales con equipo montado exteriormente y equipo para medir deformación (Véase Figura S0412_2), para materiales cuyo módulo resiliente sea menor de 104000 kPa (15000 lb/pulg²).

En ambas configuraciones puede utilizarse aire como fluido para la cámara. Puede emplearse también agua o mezcla de agua-alcohol.

15. Dispositivo de aplicación de carga.- La fuente externa de carga puede ser cualquier dispositivo capaz de producir carga repetida, que varíe en ciclos fijos de carga y de alivio. Estos dispositivos varían desde ejes de levas simples e interruptores de carga estática o pistones de aire, hasta sistemas electrohidráulicos de abrazaderas de cierre. Se necesita una duración de la carga, de 0.1 seg. y una duración del ciclo, de 1 a 3 seg.

- **16.** Puede emplearse una forma de pulsación del esfuerzo simulada, sinusoidal, rectangular o triangular.
- **17.** Equipo de medida de la carga y de la respuesta del espécimen:
 - a) El dispositivo para medir la carga axial es una celda electrónica de carga. Preferiblemente se mide la carga colocando la celda entre la parte superior del espécimen y el pistón de carga, como se muestra en la Figura S0412_1. Las celdas de carga pueden montarse también fuera de la cámara de ensayo, previendo que se hagan las correcciones necesarias por cualquier fricción dinámica del pistón en el cuello de la cámara.
 - b) Las presiones de la cámara de ensayo son controladas con manómetros convencionales de presión o transductores (aparatos medidores de presión) con graduaciones de sensibilidad convenientes.
 - c) El equipo para medida de la deformación axial usado en materiales con módulos resilientes mayores de 104000 kPa (15000 lb/pulg²), consiste de 2 transformadores lineales diferenciales variables (TLDV), conectados directamente a la muestra mediante un par de abrazaderas. Las abrazaderas y los TLDV se muestran en posición, sobre un espécimen de ensayo, en la Figura S0412_1. Detalles de las abrazaderas se muestran en la Figura S0412_3.
 - d) Pueden efectuarse las medidas de la deformación axial, sobre materiales con módulo resiliente máximo, menor de 104000 kPa (15000 lb/pulg²), con los TLDV abrazados al cuerpo del pistón por fuera de la cámara de ensayo (Véase Figura S0412_2)
 - e) Es necesario mantener una señal de excitación adecuada, acondicionada y un campo de grabación adicionado a los dispositivos de medida, para registrar simultáneamente las deformaciones y la carga axial. Los TLDV deberán conectarse de tal manera, que sea registrada la señal promedio del par.
 - f) Para disminuir errores en la medida y registro de la respuesta del espécimen, se calibra el sistema inmediatamente antes y después de cada ensayo. Un dispositivo que ha sido hallado satisfactorio para este fin, consiste de un anillo de carga de alta calidad soportado por una guía incompresible de acero, cuyas dimensiones totales son similares a las del espécimen de ensayo (Fig. No.4). Para calibrar el sistema, se coloca el dispositivo sobre la base de la cámara triaxial de la celda de carga, con los TLDV instalados. El dispositivo se somete a cargas repetidas de la magnitud y duración empleada para medir la respuesta resiliente del espécimen de ensayo. Sosteniendo una tarjeta contra la cara del dial del anillo de carga, pueden observarse sin dificultad las deflexiones dinámicas resultantes del anillo. Los desplazamientos del anillo de carga se comparan con la traza registrada del TLDV, para obtener la calibración de la deformación.

La carga de la propia relación fuerza-deformación del anillo, se utiliza para establecer la magnitud de la carga representada por la traza registrada de la celda de carga.

- 18. Equipo para la preparación del espécimen.- Se requiere gran variedad de equipos para la preparación de muestras inalteradas para ensayos, y para obtener especímenes compactados que sean representativos de las condiciones en el terreno. El empleo de diferentes materiales y de distintos métodos de compactación en el terreno, implican el uso de técnicas variadas de compactación en el laboratorio. El equipo típico requerido se enumera a continuación:
 - a) Equipo para recortar especímenes de ensayo de muestras inalteradas como el descrito en el método S0409, "Determinación de los parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial".
 - b) Equipo para compactación por impacto: como el descrito en los métodos 50402 para las relaciones de humedad-peso unitario de suelos empleando equipo normal y **50403** para la relación humedad-peso unitario de suelos empleando equipo Proctor Modificado.
 - c) Aparato para compactación por amasamiento como el descrito en el Método **S0405**, valor de resistencia R y presión de expansión de suelos compactados, u otros aparatos que utilicen métodos de compactación por amasamiento.
 - d) Aparato para compactar estáticamente un peso conocido de suelo húmedo hasta una longitud predeterminada y un diámetro fijado por las dimensiones de un molde. En la Figura S0412_5 se muestra un conjunto de molde típico para la preparación de un espécimen de 71 mm (2.8") por 152 mm (6") de altura para 3 capas de compactación estática.
 - e) Molde partido y compactador vibratorio manual operado con aire, como se muestra en la Figura **S0412_6.**
 - Máquina de carga estática con una capacidad adecuada para compactar diferentes materiales.
- 19. Aparatos y elementos misceláneos requeridos.-Estos incluyen calibradores, manómetros micrométricos, regla de acero (calibrada a 0.5 mm (0.02")), membranas de caucho de 0.254 a0.635 mm (0.01" a 0.025") de espesor, anillos de caucho en O, fuente de vacío con cámara y regulador de burbujas, dilatador de membrana, piedras porosas, reglas, recipientes para contenidos de agua, así como formatos para informe.

PREPARACIÓN DE ESPÉCIMENES DE ENSAYO.

- 20. Tamaño del espécimen.- La longitud del espécimen no deberá ser menor de dos veces el
 - El diámetro mínimo del espécimen, es el mayor entre 71 mm (2.8") o seis veces el tamaño de la partícula mayor del suelo. Especímenes de 102 mm (4") de diámetro por 203 mm (8") de altura pueden acomodarse en la celda triaxial mostrada en la Figura S0412_1, y éste es el tamaño mínimo requerido para el espécimen, cuando se utilizan abrazaderas de anillo como soportes, de los TLDV mostrados en la Figura S0412_3.
- 21. Especímenes inalterados.- Los especímenes inalterados se recortan y preparan como se describe en la norma INV E-153, "Parámetros de resistencia de suelos mediante compresión triaxial".

22. Preparación del suelo para especímenes compactados de laboratorio.- El procedimiento siguiente es empleado para preparar las muestras de suelos para compactación en el laboratorio:

Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, se secará hasta que sea disgregable con un palustre. El secado puede ser al aire o mediante el empleo de un aparato para secar, en tal forma, que la temperatura no exceda de 60°C (140°F). La disgregación se hará evitando la reducción del tamaño natural de las partículas individuales.

Tamícese una cantidad adecuada, representativa de suelo, sobre el tamiz de 19.0 mm (3/4").

Descártese el material grueso retenido, si lo hubiere.

Determínese la humedad w1, secando el suelo al aire. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g para suelos con un tamaño máximo de partículas de 4.75 mm (No.4), y no menor de 500 g, para suelos con tamaño máximo de partículas, mayor que 4.75 mm (No.4).

Determínese el volumen V, del espécimen compactado que se va a preparar. Para métodos diferentes al de compactación estática, la altura del espécimen compactado, deberá ser ligeramente mayor que la requerida para el ensayo de resiliencia, para permitir el recorte de los extremos del mismo. Un exceso de 13 mm (0.5") es adecuado para este propósito.

Determínese el peso de los sólidos del suelo secado al horno Ws y el peso de agua Wc, requerida para obtener el peso unitario seco d deseado y el contenido de agua wc(%), así:

Ws (lb) =
$$d (lb/pie^3) \times V (pies^3)$$
.

Ws (gramos) = Ws (lb)
$$\times$$
 454.

$$Wc (lb) = Ws (lb) \times wc/100$$

$$Wc (gramos) = Wc (lb) x 454.$$

Determínese el peso del suelo secado al aire Wad, requerido para obtener Ws. Una cantidad adicional Was, de por lo menos 500 grs, deberá dejarse para proporcionar material para la determinación del contenido de agua en el momento de compactación.

Wad (gramos) =
$$(Ws + Was) \times (1 + w1/100)$$

Determínese el peso del agua Waw, requerido para aumentar el peso existente de agua hasta el peso del agua Wc, que corresponde al contenido de agua wc(%) para la compactación deseada.

$$W1 (gramos) = (Ws + Was) x (w1/100)$$

$$W2 (gramos) = (Ws + Was) \times (wc/100)$$

Determínese el peso húmedo del suelo Wt que va a ser compactado.

Wt (gramos) = Ws x
$$1 + (wc/100)$$

Colóquese el peso de suelo Wad, determinado anteriormente, dentro de una cazuela para mezclar.

Agréguese el peso de agua Waw, al suelo en cantidades pequeñas y mézclese completamente después de cada adición.

Colóquese la mezcla en una bolsa plástica, séllese la bolsa y almacénese en un ambiente de por lo menos 75% de humedad relativa durante 24 horas. Asegúrese un sello completo empleando dos o más bolsas.

Después del mezclado y almacenamiento, pésese el suelo húmedo y el recipiente con aproximación al gramo más próximo y anótese este valor en los formatos apropiados mostrados en las Figuras S0412_7 y S0412_8.

Especímenes compactados de suelos cohesivos.-

El comportamiento resiliente de suelos cohesivos compactados, que contienen cantidades sustanciales de arcilla, depende de la estructura impartida a las partículas del suelo, mediante el proceso de compactación. Suelos cohesivos que contienen cantidades sustanciales de arcilla están definidos para este procedimiento como suelos clasificados como A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7.

- **23. Escogencia del método de compactación**. El método de compactación y el contenido de agua de moldeo wc de suelos cohesivos, dependen de las condiciones del terreno que van a ser simuladas por el espécimen de laboratorio.
 - a) Especímenes que representen sub-rasantes cohesivas compactadas a humedades que correspondan a menos del 80% de saturación, que permanezcan en la condición como fueron construidas, podrán compactarse hasta el peso unitario seco y húmedo del terreno, mediante procedimientos normales giratorios, de amasamiento o estáticos.
 - b) Especímenes de ensayo que representen una sub-rasante que fue originalmente compactada a una humedad menor que la correspondiente al 80% de saturación, pero que ha experimentado posteriormente un aumento de humedad al someterse al servicio, se compactarán con la humedad esperada, empleando el método estático descrito en el numeral 26.
 - c) El amasamiento se emplea para preparar especímenes que representan las condiciones en el terreno y de servicio del párrafo anterior, sólo si los especímenes se compactan al contenido inicial de agua (empleada en la construcción) y se someten luego a cambios después de la compactación. Cambios controlados del contenido de agua, después de la compactación, están limitados en el laboratorio a las técnicas de saturación bajo contrapresión, descritas en el numeral 27.
 - d) Los especímenes de ensayo que representen sub-rasantes cohesivas, compactadas en el terreno a contenidos de agua mayores que el 80% de saturación, se compactarán en el laboratorio empleando la compactación por amasamiento. Tales especímenes de ensayo pueden someterse también a compactación posterior y a aumentos en la humedad, si el material del terreno que van a representar, ha experimentado compactación posterior y aumentos en su contenido de agua.
- **24.** Relaciones entre humedad y peso unitario. Cuando son conocidas las variaciones de las condiciones de compactación y de las condiciones en el servicio, se escogerá el método de

compactación requerido para el laboratorio, entre los métodos alternos enumerados. Si las condiciones en servicio no están bien definidas, se prepararán y ensayarán especímenes dentro de una variación de pesos unitarios secos y contenidos de agua. Se cumplirán cuatro pasos para escoger los pesos unitarios, contenidos de agua, y métodos de compactación empleados para preparar especímenes representativos dentro de la variación del comportamiento resiliente.

- a) Establézcase la relación peso unitario-humedad para el suelo según el Método **50402**, con martillo de 2.5 kg (5.5 lb) y caída de 305 mm (12") (Equipo Normal).
- b) Determínese el peso específico de los suelos, de acuerdo con el *Método S0307*.
- c) Úsense los datos así obtenidos para determinar el 100% y el 80% de saturación a diferentes densidades. Sobre el gráfico de la relación humedad-peso unitario determinada, se dibujan líneas para el 80% y para el 100% de saturación.
- d) Escójanse los pesos unitarios, las humedades y los métodos de compactación, que deberán emplearse para preparar especímenes de ensayo.
- 25. Compactación por métodos de amasamiento. Los moldes normales, asociados con métodos de compactación por amasamiento, tales como el Hveem o el Harvard miniatura, pueden no tener las dimensiones correctas para su utilización directa en el ensayo de resiliencia. Pueden obtenerse, sin embargo, moldes de las dimensiones correctas, y los métodos a los cuales se hace referencia atrás, pueden adaptarse a los nuevos moldes. Generalmente, esto requerirá ajustes, por tanteos en el número de capas compactadas o en el número de golpes por capa (o ambos), para producir especímenes de los pesos unitarios requeridos. Especímenes compactados de mayor tamaño pueden prepararse y recortarse al tamaño correcto del espécimen de ensayo. Ocho pasos se requerirán para el procedimiento de compactación por amasado.
 - Establézcase el número de capas, N que van a usarse para compactar el suelo. Determínese el peso húmedo del suelo requerido por capa, WL. El espesor de la capa no deberá exceder de 50 mm (2"):

b) Colóquese en el molde el peso de suelo determinado en el paso a). Compáctese de acuerdo con el procedimiento establecido para las dimensiones del molde y el compactador usado.

Escarifíquese la superficie para las capas restantes.

- c) Repítase el paso b) para las capas restantes.
- d) Después de que se haya completado el espécimen, verifíquese el contenido de agua de compactación wc del suelo restante. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g, para suelos con tamaño máximo de partículas de 4.75 mm (No.4) y no menos de 500 g, para suelos con un tamaño máximo de partículas mayor. Regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos como se muestra en la Figura S0412 7.
- e) Remuévase cuidadosamente el espécimen del molde. Si el espécimen compactado no tiene las dimensiones deseadas, recórtese el espécimen de ensayo de acuerdo con los procedimientos descritos en el Método S0409, "Determinación de los parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial". Si el molde de compactación tiene las mismas dimensiones del espécimen de ensayo deseado, pueden obtenerse extremos de superficies

- planas, aplicando una pequeña carga estática al espécimen antes de que sea cuidadosamente removido del molde.
- f) Pésese el espécimen con aproximación al gramo más próximo, y determínese la altura y el diámetro promedio con aproximación a 0.5 mm (0.02"); anótense dichos valores en un formato para suelos cohesivos, como se muestra en la Figura S0412_7.
- g) Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese una membrana delgada e impermeable sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, para proporcionar un sello positivo a las platinas del tope y del fondo, como las que se usan con la cámara triaxial.
- h) Envuélvase la muestra incluida en la membrana, en una bolsa plástica, y colóquese en un ambiente de por lo menos 75% de humedad relativa, durante un período de no menos de 24 horas, para asegurar una distribución uniforme de la humedad. Si no se va a emplear un acondicionamiento después de la compactación o una saturación por contrapresión, el espécimen está listo para transferirlo a la cámara triaxial para ensayo de resiliencia.
- 26. Compactación mediante carga estática.- En ausencia de métodos normales para compactación estática, se emplea el método descrito en esta norma. El proceso consiste en compactar un peso conocido de suelo húmedo hasta volumen que es fijado por las dimensiones del conjunto del molde.

Un conjunto de molde típico empleando 3 capas para la preparación de un espécimen de 71 mm

(2.8") de diámetro y 152 mm (6") de altura, se muestra en la Figura S0412_5.

Pueden desarrollarse otros equipos adecuados y disponer el número de capas necesarias para producir muestras de dimensiones mayores. Para la compactación estática se requieren dieciséis pasos, a saber:

a) Establézcase el número, N de capas que deben emplearse para compactar el suelo. El espesor de cada capa deberá limitarse a 50 mm (2"). Determínese el peso del suelo húmedo por capas:

- b) Colóquese uno de los pistones de carga dentro del molde de la muestra.
- c) Colóquese el peso del suelo WL, determinado en el paso a) dentro del molde para la muestra.

Úsese una espátula para quitar el suelo del borde del molde y para formar un ligero montículo en el centro.

- d) Insértese el segundo pistón de carga y colóquese el conjunto en la máquina de carga estática.
 - Aplíquese una carga pequeña, ajústese el molde de manera que permanezca a igual distancia de la tapa de los pistones de carga.
- e) La presión desarrollada en el suelo por la carga inicial sirve para mantener el molde en su lugar.
 - Teniendo ambos pistones de carga simultáneamente en posición para que no haya cambio de volumen, se obtienen pesos unitarios más uniformes, por capa.
- f) Auméntese lentamente la carga, hasta que las tapas del pistón de carga descansen firmemente contra el molde. Manténgase la carga en o cerca de la carga máxima, por lo menos durante 1 minuto. La rata de carga y la duración de la misma, dependen de la cantidad del rebote del suelo. Para una rata de carga más baja y a mayor duración de la carga, el rebote será menor.
- g) Disminúyase la carga hasta cero y remuévase el conjunto de la máquina de carga.
- h) Remuévase el pistón de carga. Escarifíquese la superficie de la capa compactada, póngase el peso correcto del suelo WL para una segunda capa, y ajústese el suelo como en el paso c).
 - Agréguese un anillo espaciador e inviértase el pistón de carga.
- i) Inviértase el dispositivo y repítase el paso h).
- j) Colóquese el conjunto en la máquina de carga. Cárguese lentamente mientras se mantiene la carga en o cerca de la máxima, cuando el disco espaciador hace contacto firmemente con el molde.
- k) Repítanse los pasos g), h), i), y j), tanto como sean requeridos.
- Después de que haya sido completado el espécimen, determínese el contenido del agua de compactación (wc) del suelo restante. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200g, para suelos con tamaño máximo de partículas de 4.75mm (tamiz No.4) y no menos de 400 g, para suelos con tamaño máximo mayor. Regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos.
- m) Colóquese el pistón de extrusión dentro del molde de la muestra y fuércese el espécimen hacia afuera del molde y dentro del molde de extrusión.
- n) Úsese el molde de extrusión para deslizar cuidadosamente el espécimen compactado, sobre una placa de vidrio.
- o) Determínese el peso del espécimen compactado, con aproximación al gramo. Mídase la altura y el diámetro con aproximación a 0.5 mm (0.02"). Regístrense los valores en un formato para suelo cohesivo.
- p) Empleando un dilatador de membranas, colóquese la membrana delgada a prueba de pinchazos sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión, alrededor de la membrana para proporcionar un sello efectivo a las platinas sólidas de los extremos superior e inferior, similares a los que se emplean con la cámara triaxial.
- q) Cúrese el espécimen como se describe en el numeral 25, paso i). Si no se va a efectuar ninguna operación después de la compactación, por ejemplo saturación por contrapresión después de la compactación, el espécimen se halla listo para el ensayo de resiliencia en la cámara triaxial.
- **27.** Saturación por contrapresión después de la compactación de especímenes de suelos cohesivos.- Si un espécimen de suelo cohesivo inalterado o que se compacta por los métodos

de los numerales 25 y 26, se va a saturar antes del ensayo, deben cumplirse los siguientes 22 pasos:

- a) Sepárese el espécimen de ensayo de las platinas de los extremos, removiendo primero los anillos de caucho en O, y luego doblando o enrollando cuidadosamente la membrana desde los extremos del espécimen, hasta una distancia de aproximadamente 6.4 mm (¼").
- b) Colóquese una piedra porosa saturada, encima del pedestal o de la platina de base de la cámara triaxial. Satúrese la línea de drenaje del fondo de la cámara triaxial y el dispositivo para medir presión de poros, antes de iniciar este proceso, haciendo pasar agua desaireada a través de él.
 Si se usa una platina de tipo removible para el fondo, ajústese ésta firmemente a la cámara triaxial para obtener un sello hermético.
- c) Con la válvula de drenaje del fondo cerrada, colóquese la muestra de ensayo sobre la piedra porosa saturada, desdóblese cuidadosamente la membrana hacia abajo y séllese ésta al pedestal o a la platina de base con un anillo en O u otro sello de presión.
- d) Colóquese la piedra porosa superior y la placa del extremo superior (con la válvula de saturación de ingreso) sobre la parte superior del espécimen, desdóblese la membrana hacia arriba, y séllese al extremo superior de la platina.
- e) Con la línea de drenaje del fondo del espécimen cerrado, conéctese la entrada de vacío de la parte superior del espécimen a una fuente de vacío a través de una cámara de burbujas, y aplíquese un vacío de 35 kPa (5 lb/pulg²). Si no hay burbujas, se ha obtenido un sello hermético para el sistema. Cuando hay burbujas, verifíquense los goteos causados por conexiones pobres, huecos en la membrana, o sellos imperfectos, en las platinas de los extremos.
- f) Cuando se hayan eliminado los escapes, desconéctese la fuente de vacío. Si se ha de medir la respuesta del espécimen empleando los TLDV montados internamente, se requieren los pasos g), h) y i) Si se van a emplear TLDV montados exteriormente, el método continúa con el paso j).
- g) Abrase la abrazadera del TLDV inferior y fíjese cuidadosamente, en un punto ubicado en el cuarto inferior del espécimen, aproximadamente.
- h) Repítase el paso g) para la abrazadera superior, colocándola en el punto del cuarto superior. Asegúrese que ambas abrazaderas queden en planos horizontales.
- i) Conéctense los TLDV a la unidad de registro y balancéense los puentes de registro. Esto requerirá ajustes del registrador y ajustes de los vástagos de los TLDV. Cuando se haya obtenido el balanceo de un puente de registro, determínese la separación vertical entre las abrazaderas de los TLDV con aproximación a 0.5 mm (0.02") y regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos.
- j) Asiéntese la celda de carga en su lugar sobre la parte superior de la muestra, si se emplea la configuración de la celda de carga de la Figura S0412_1.
- **k)** Colóquese el cilindro de la cámara y la placa de cubierta. Insértese el pistón de carga y obténgase una conexión firme con la celda de carga.
- I) Ajústense firmemente las varillas de unión de la cámara.
- **m)** Deslícese el conjunto del aparato, y colóquelo en posición bajo el dispositivo de carga axial.
- n) Bájese el dispositivo de carga y acóplese al pistón de la cámara triaxial.
 Conéctese la línea de suministro de presión a la cámara y aplíquese una presión de confinamiento, de 35 kPa (5 lb/pulg²).

- **o)** Conéctese la línea de drenaje del fondo del espécimen a un recipiente de agua destilada desaireada, para la cual pueda controlarse la contrapresión.
- p) Reconéctese la línea de drenaje de la parte superior de la muestra a la fuente de vacío a través de la cámara de burbujas. Aplíquese un vacío de 21 kPa (3 lb/pulg²), a la parte superior de la muestra.
- **q)** Abrase la válvula de drenaje del fondo y déjese que el agua suba lentamente a través de la muestra. Cuando aparezca y fluya el agua del espécimen en la línea superior de drenaje, desconéctese la fuente de vacío.
- r) Conéctese la línea de drenaje superior a un segundo recipiente de agua destilada desaireada. Manténgase la contrapresión en este recipiente, 35 kPa (5 lb/pug²) menos que la presión en el recipiente conectado al fondo de la muestra.
- s) Elévese la presión de la cámara y la contrapresión lentamente, en incrementos de 35 kPa (5lb/pulg²) hasta 518 kPa (75 lb/pulg²) y 483 kPa (70 lb/pulg²) respectivamente, teniendo cuidado de mantener aproximadamente la presión de la cámara en 35 kPa (5 lb/pulg²) por encima de la contrapresión en el drenaje del fondo del recipiente, para evitar flujo entre el espécimen y la membrana.
- t) Continúese el flujo de agua a través del sistema, manteniendo la diferencia de 35 kPa (5 lb/pulg²) en la contrapresión aplicada a las líneas de drenaje de la parte superior e inferior, hasta que haya sido eliminado todo el aire.
- u) Cuando haya sido eliminado todo el aire del espécimen de ensayo, un aumento de la presión de la cámara (con las válvulas de contrapresión de la parte superior y del fondo del recipiente, cerradas) se traducirá en un incremento, aproximadamente igual, en la presión de poros. Cuando se logre esta condición (puede tomar varios días), redúzcase la contrapresión a cero y la presión de la cámara hasta 35 kPa (5 lb/pulg²), teniendo cuidado de mantener la presión de la cámara, 35 kPa más alta que la contrapresión.
- v) Después que ambas, la contrapresión y la presión de la cámara, hayan sido reducidas a cero, desconéctense las líneas de drenaje de la parte superior e inferior, y ábranse a la presión atmosférica (cámara triaxial exterior). El espécimen está listo ahora, para el ensayo de resiliencia.

Compactación de especímenes de suelos granulares.

Suelos granulares que exhiban suficiente cohesión (aparente) para permitir su manejo (remoción del molde, transporte y sello en la membrana de caucho), se pueden compactar mediante los métodos descritos en los numerales 25 y 26.

No es necesario, sin embargo, considerar efectos por la estructura del suelo. Las excepciones son algunos limos plásticos, que pueden exhibir también propiedades resilientes que dependen de las condiciones de compactación. Los materiales granulares que no pueden manejarse, se compactarán como se describirá más adelante.

28. Relación de humedad-peso unitario.- Cuando es conocida la variación de pesos unitarios en el terreno y de las condiciones de humedad que se representarán con los especímenes de laboratorio, éstos se pueden compactar directamente al contenido de humedad en servicio, empleando los métodos de 25, 26 o 29. Si no están bien definidas las condiciones del

servicio, prepárense y ensáyense especímenes sobre una variación de pesos unitarios secos y contenidos de humedad.

Establézcanse las relaciones entre humedad-peso unitario del suelo de acuerdo con el procedimiento del *Método \$0402*, empleando martillo de 2.5 kg (55 lb) y caída de 30.5 mm (12")

(Equipo Normal).

- 29. Compactación de suelos granulares empleando un molde partido y un vibrador. Materiales granulares no cohesivos, son verdaderamente compactados, mediante el empleo de un molde partido montado sobre la base de la celda triaxial como se muestra en la Figura S0412_6. Las fuerzas de compactación son generadas mediante un vibrador, tal como un pequeño martillo neumático operado manualmente. Se necesitan los 26 pasos siguientes para compactar el espécimen:
 - a) Ajústese la base de la muestra en su sitio sobre la base de la cámara triaxial. Es esencial que se asegure un sello hermético al aire. Colóquense las dos piedras porosas más la tapa sobre la base de la muestra (se necesitan dos piedras porosas para especímenes saturados, pero generalmente sólo deberá usarse la piedra inferior para ensayos de especímenes no saturados). Determínese la altura de la base, tapa, y piedras con aproximación al 0.5 mm (0.02") más próximo, y anótese este valor en un formato para suelos granulares, como se muestra en la Figura S0412_8.
 - **b)** Remuévanse la tapa de la muestra y la piedra porosa superior, si ésta es usada; mídase el espesor de la membrana de caucho con un medidor micrométrico. Regístrese este valor en un formato para suelos granulares.
 - c) Colóquese la membrana de caucho sobre la base de la muestra y la piedra porosa inferior.
 - d) Fíjese la membrana en su sitio con sellos de anillos en O.
 - e) Colóquese el molde partido primero alrededor de la base de la muestra y pásese la membrana por dentro del molde. Apriétese firmemente el molde partido en su sitio. Téngase cuidado para evitar pinchazos en la membrana.
 - f) Estírese la membrana apretadamente sobre el borde del molde. Aplíquese un vacío al molde, para remover todas las arrugas de la membrana. El empleo de plástico poroso que forme un forro tubular como se muestra en la Figura S0412_6., ayuda a asegurar que la membrana se ajuste exactamente alrededor del perímetro interior del molde. El vacío debe mantenerse durante el procedimiento de compactación.
 - g) Úsense calibradores para determinar con aproximación a 0.5 mm (0.02") el diámetro interior de la membrana tubular ajustada al molde. Determínese con aproximación a 0.5 mm (0.02") la distancia desde la parte superior de la piedra porosa, hasta el borde del molde.
 - h) Determínese el volumen V del espécimen que se va a preparar. El diámetro del espécimen es el diámetro medido en el paso g), y la altura es un valor menor que el determinado en el paso g) pero al menos de 2 veces el diámetro.
 - i) Determínese el peso del material que debe compactarse dentro del volumen V determinado en el paso h), para obtener el peso unitario y el contenido de agua deseados, como se describió en el numeral 22.
 - j) Determínese el número de capas N que se van a emplear para la compactación. Normalmente, los espesores de las capas serán de 25.4 a38.1 mm (1" a 1.5").

- Determínese el peso del suelo húmedo requerido para cada capa WL, como en el numeral 25, paso a).
- k) Colóquese el peso total requerido de suelo, Wad dentro de una bandeja para mezcla. Agréguese la cantidad de agua requerida, Waw y mézclese perfectamente.
- Determínese el peso del suelo húmedo más el de la bandeja de mezclado, y anótese en un formato para suelos granulares.
- **m)** Colóquese la cantidad de suelo húmedo requerido para una capa WL, dentro del molde.
 - Téngase cuidado de evitar rebose. Úsese una espátula para quitar el material del borde del molde y fórmese un pequeño montículo en el centro del mismo.
- n) Insértese la cabeza del vibrador y víbrese el suelo hasta que la distancia entre la superficie compactada y el borde del molde, sea igual a la distancia medida en el paso g), menos el espesor de la capa escogida en el paso j). Esto puede requerir la extracción e introducción de la cabeza del vibrador varias veces, hasta que por experiencia se obtenga la medición del tiempo de vibración requerido.
- o) Repítanse los pasos m) y n) para cada nueva capa. La distancia medida desde la superficie de la capa compactada hasta el borde del molde, es reducida sucesivamente por el espesor de cada nueva capa, a partir del paso j). La superficie final deberá ser un plano pulido y horizontal.
- p) Cuando la compactación esté completa, mídase el peso de la bandeja de mezcla más el exceso de suelo, y anótese en un formato para suelos granulares. El peso determinado en el paso I), menos el peso medido ahora, es el peso del suelo húmedo incorporado en los especímenes.
 Verifíquese el contenido del agua de compactación, wc del suelo remanente en la bandeja. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g para suelos con tamaño máximo de partículas de 4.75 mm (No.4) y no menos de 500 g para suelos con tamaño máximo de partículas mayor. Regístrese este valor en el
- q) Colóquese la piedra porosa y la tapa de la parte superior sobre la superficie del espécimen. Si la tapa de la muestra se proyecta por encima del borde del molde, deberá sellarse firmemente la membrana contra la tapa con un anillo de sello O. Si no es así, el sello puede aplicarse más tarde.
- r) Conéctese la entrada de vacío-saturación, a una fuente de vacío y aplíquense 35 kPa (5 lb/pulg²) de vacío con una cámara de burbujas. El vacío sirve para detectar escapes y para producir un esfuerzo inducido rígidamente al material, para evitar el colapso cuando se remueva el molde.
- s) Remuévase cuidadosamente el molde con la muestra. Séllese la membrana a la tapa de la muestra si no se ha hecho esto. Determínese con aproximación a 0.5 mm (0.02") la altura de la muestra con tapa y base, y el diámetro del espécimen más la membrana tubular. Anótense estos valores en el formato para suelos granulares.
- t) Obsérvese la presencia o ausencia de burbujas de aire en la cámara de burbujas. Si no hay burbujas, se ha logrado un sello hermético. Si hay burbujas, compruébense los escapes causados por conexiones mal hechas, huecos en las membranas, o sellos imperfectos en la tapa y en la base. La existencia de un sello hermético asegura que la membrana permanecerá firmemente en contacto con el espécimen. Esto es esencial para el empleo de la abrazadera montada

formato para suelos granulares.

- interiormente para los TLDV. Los escapes a través de huecos en las membranas, pueden eliminarse frecuentemente cubriendo la superficie de la membrana con caucho líquido (látex)o empleando una segunda membrana.
- u) Cuando haya sido eliminado el escape, ábrase la abrazadera inferior de los TLDV y colóquese cuidadosamente sobre el espécimen, aproximadamente a la altura del cuarto inferior del espécimen.
- v) Repítase el paso u) para la abrazadera superior y colóquese a la altura del cuarto superior.
 - Asegúrese de que ambas abrazaderas permanezcan en planos horizontales.
- w) Conéctense los TLDV a la unidad de registro y balancéense los puentes de registro. Esto requerirá ajustes al registrador y ajuste de los vástagos de los TLDV. Cuando se haya obtenido un registro del puente de balanceo, determínese con aproximación de 0.5 mm (0.02") la separación vertical entre las abrazaderas de los TLDV, y regístrese este valor en un formato para suelos granulares.
- x) Colóquese la celda de carga sobre la platina del extremo de la muestra, ensámblese el resto de la celda, y ajústense firmemente las varillas de unión. Deslícese el aparato ensamblado, colóquese en posición bajo el dispositivo de carga axial, y acóplense los pistones del impulsor y de la cámara triaxial.
- y) Conéctese la línea de suministro a la cámara de presión y aplíquese una presión de 35 kPa (5 lb/pulg²).
- z) Suspéndase la producción de vacío de la entrada de vacío-saturación, y ciérrese esta línea. Si el espécimen va a ser ensayado con el contenido de agua tal como fue compactado, está listo ahora para el ensayo de resiliencia. Si el espécimen va a estar sometido a saturación por contrapresión después de la compactación, se completan los pasos listados en 30 para suelos granulares.
- **30.** Saturación después de la compactación por contrapresión.- Los especímenes de ensayo de suelos granulares, para ser saturados por inundación de contrapresión, son preparados mediante los métodos descritos en el numeral 29. Después de completarlos, háganse los siguientes pasos adicionales, que son necesarios para saturar el suelo:
 - a) Conéctese el suministro de vacío a la entrada del vacío (en la parte superior del espécimen) y conéctese la línea de drenaje del fondo a una fuente de agua destilada y desaireada.
 - **b)** Aplíquese un vacío de 14 a 21 kPa (2 a 3 lb/pulg²), ábrase la línea de drenaje del fondo, y permítase que el agua suba lentamente a través del espécimen.
 - c) Continúese la inundación con agua a través del sistema para remover todo el aire atrapado. Para evaluar la presencia o ausencia de aire, la respuesta de la presión de agua en los poros para un incremento de la presión de la cámara es observada, como se describe para suelos cohesivos en el numeral 27,paso u).
 - d) Cuando haya sido eliminado todo el aire, manténgase la presión de la cámara en 69 kPa (10 lb/pulg²), aplicando una contrapresión de 35 kPa (5 lb/pulg²) a la fuente de suministro de agua, mientras se cierra la válvula de producción de vacío. La presión efectiva de confinamiento de 35 kPa (5 lb/pulg²) sobre la muestra, es igual ahora a la presión de la cámara 70 kPa (10 lb/pulg²), menos la contrapresión 35 kPa (5 lb/pulg²).
 - e) El espécimen está listo ahora para el ensayo de resiliencia.

PROCEDIMIENTO

Ensayos de resiliencia sobre suelos cohesivos.-

Los procedimientos aquí descritos se emplean para especímenes inalterados y especímenes compactados en el laboratorio, de sub-rasantes de suelos cohesivos, como se definen en el "Especímenes compactados de suelos cohesivos".

31. Conjunto de cámara triaxial. El ensayo de resiliencia de especímenes previamente sometidos a saturación por contrapresión según los procedimientos del numeral 27, se comienzan con el paso descrito en el numeral 32.

Especímenes recortados de muestras inalteradas, y especímenes compactados en el laboratorio, que no hayan sido sometidos a saturación por contrapresión después de la compactación, se colocan en la cámara triaxial y en el aparato de carga, según los siguientes pasos:

- a) Colóquese el conjunto de la base de la cámara triaxial sobre la plataforma de la máquina de carga. Si la cámara tiene una platina de fondo removible (base de la muestra), ajústese firmemente para obtener un sello hermético.
- b) Remuévanse las platinas de los extremos del espécimen de ensayo, remuévanse los anillos de caucho en O, y luego envuélvanse o enróllense hacia atrás desde los extremos del espécimen a una distancia de aproximadamente 6.4 mm (¼").
- c) Colóquese una piedra porosa encima del pedestal o sobre la platina del extremo del fondo de la cámara triaxial.
- d) Colóquese cuidadosamente el espécimen sobre la piedra, dóblese la membrana, y séllese al pedestal o placa del extremo del fondo, con un anillo en O u otro sello de presión.
- e) Colóquese la platina superior (tapa de la muestra) y la celda de carga sobre la muestra, dóblese la membrana y séllese a la platina superior.
- f) Ciérrese la válvula sobre la línea de saturación de la placa superior (esta línea no se necesita para el ensayo de resiliencia de muestras no sometidas a la saturación después de la compactación). Cerrando la válvula, se evitará la pérdida de aire de la cámara durante el ensayo.
- g) Conéctese la línea de drenaje del fondo de la muestra a una fuente de vacío a través del punto medio de una cámara de burbujas. Aplíquese un vacío de 21 kPa (3 lb/pulg²). Si hay burbujas, compruébense los escapes como se describe en el numeral 27,paso e).
- h) Cuando se haya eliminado el goteo, desconéctese el productor de vacío. Instálese el conjunto de TLV en la cámara triaxial y colóquese bajo el dispositivo de carga axial, como se describe en el numeral 27, pasos g) al n).

- **32.** Conducción del ensayo de resiliencia.- Se necesitan 12 etapas para efectuar el ensayo del módulo resiliente sobre suelo cohesivo instalado en la cámara triaxial y colocado en el aparato de carga, como se describe en el numeral 27 o en el 31.
 - a) Ábranse todas las válvulas de drenaje que conducen al espécimen.
 - b) Si no está ya conectada, conéctese la línea de suministro de la cámara de presión y aplíquese una presión de confinamiento (presión de la cámara) de 41 kPa (6 lb/ pulg²), al espécimen de ensayo.
 - c) Vuélvanse a balancear los puntos de registro para los TLDV y para la celda de carga.
 - d) Comiéncese el ensayo aplicando 200 repeticiones de un esfuerzo desviador de 6.9 kPa (1lb/-pulg²) y luego 200 repeticiones de cada uno de los valores 14, 28, 55 y 69 kPa (2, 4, 8 y 10 lb/pulg²).

La anterior secuencia de esfuerzos constituye el acondicionamiento de la muestra, esto es, la eliminación de los efectos del intervalo entre la compactación y la carga, y la eliminación del cargue inicial contra la recarga. Este acondicionamiento de carga, ayuda también a disminuir los efectos del contacto inicialmente imperfecto, entre las platinas de los extremos y el espécimen de ensayo.

- e) Disminúyanse el esfuerzo desviador hasta 6.9 kPa (1 lb/pulg²). Aplíquense 200 repeticiones del esfuerzo desviador y regístrese la deformación recuperada a la repetición No. 200 en un formato para suelos cohesivos.
- f) Disminúyase el esfuerzo de confinamiento (presión de cámara), hasta 21 kPa (3 lb/pulg²). Repítase el paso e).
- g) Disminúyase el esfuerzo de confinamiento (presión de cámara), hasta cero. Repítase el paso e).
- h) Auméntese la presión de confinamiento (presión de la cámara) hasta 41 kPa (6 lb/pulg²), aplíquense 200 repeticiones de carga y regístrese la deformación vertical recobrada a la repetición No.200.
- i) Con el esfuerzo desviador en 14 kPa (2 lb/pulg²), aplíquense 200 repeticiones del esfuerzo desviador y regístrese la deformación vertical recuperada a esfuerzos de confinamiento (presiones de cámara) de 21 kPa (3 lb/pulg²) y de cero (0).
- j) Continúense registrando las deformaciones verticales, recobradas después de 200 repeticiones del esfuerzo desviador constante, disminuyendo la secuencia de la presión de confinamiento(presión de la cámara), para valores del esfuerzo desviador de 28, 55 y 69 kPa (4, 8 y 10 lb/pulg²).
- **k)** A la conclusión del cargue (con la cámara de presión en cero), desármese la cámara triaxial y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.
- Úsese la muestra completa para determinar el contenido de agua y anótese este valor en el formato para suelos cohesivos.

Ensayo de resiliencia de suelos granulares

Los procedimientos incluidos en esta parte, se emplean para suelos no cohesivos, saturados y no saturados. Para suelos saturados después de la compactación, empleando los pasos del numeral 30, los esfuerzos de confinamiento buscados para la fase de acondicionamiento, son esfuerzos de confinamiento efectivos, esto es, el esfuerzo de confinamiento es igual a la presión de la cámara menos la contrapresión.

Después de que haya sido preparado el espécimen de ensayo, y de que se haya colocado en el dispositivo de carga, como se describe en los numerales 29 o 30, se necesitan los pasos siguientes para efectuar el ensayo de módulo resiliente:

- a) Si todavía no ha sido hecho, ajústese la posición del dispositivo de carga axial o el soporte de la base de la cámara triaxial, en cuanto sea necesario, para acoplar el pistón del dispositivo de generación de carga y el pistón de la cámara triaxial. El pistón de la cámara triaxial deberá soportarse firmemente sobre la celda de carga.
- **b)** Vuélvanse a balancear los puentes de registro de datos para los TLDV y la celda de carga.
- c) Fíjese el esfuerzo de confinamiento, en 35 kPa (5 lb/pulg²) y aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 35 kPa (5lb/pulg²). Para especímenes saturados, la válvula de drenaje de la base del espécimen hasta el recipiente de contrapresión se mantiene abierta durante todo el ensayo de resiliencia.
- d) Colóquese el generador de carga axial, para aplicar un esfuerzo desviador de 69 kPa(10 lb/-pulg²). Actívese el generador de carga y aplíquense 200 repeticiones de esta carga.
- e) Fíjese la presión de confinamiento en 69 kPa (10 lb/pug²).
- f) Aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 104 kPa (15 lb/pulg²).
- g) Fíjese la presión de confinamiento en 104 kPa (15 lb/pulg²) y aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial, de 104 kPa (15 lb/pulg²).
- h) Aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 138 kPa (20 lb/pulg²).
- i) Si el espécimen es uno de los que han sido saturados mediante los procedimientos de saturación por contrapresión del numeral 30, redúzcase la contrapresión a cero.
- j) Comiéncese el registro del ensayo del módulo resiliente, empleando una presión de confinamiento de 138 kPa (20 lb/pulg²), y un esfuerzo desviador de 6.9 kPa (1 lb/pug²).
- **k)** Regístrese la deformación vertical recuperada, en un formato para suelos granulares, después de aplicadas 200 repeticiones de carga.
- I) Auméntese el esfuerzo desviador hasta 14 kPa (2 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recuperadas, después de 200 repeticiones, para niveles de esfuerzo desviador de: 35, 69, 104 y 138 kPa (5, 10, 15 y 20 lb/pug²).
- m) Redúzcase la presión de confinamiento hasta 104 kPa (15 lb/pulg²), y regístrense las deformaciones verticales recobradas, después de la aplicación de 200 repeticiones de carga para cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69, 104 y 138 kPa (1, 2, 5, 10, 15 y 20 lb/pulg²).
- n) Redúzcase la presión de confinamiento, hasta 69 kPa (10 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de la aplicación de 200

- repeticiones de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69 y 104 kPa (1, 2, 5, 10 y 15 lb/pulg²).
- o) Redúzcanse las presiones de confinamiento hasta 35 kPa (5 lb/pug²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de aplicar 200 repeticiones, de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69 y 104 kPa (1, 2, 5, 10 y 15 lb/pulg²).
- p) Redúzcase la presión de confinamiento hasta 6.9 kPa (1 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de aplicar 200 repeticiones, de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 52 y 69 kPa (1, 2, 5, 7.5 y 10 lb/pug²).

Deténgase el cargue, después de 200 repeticiones del último nivel del esfuerzo desviador, o cuando falle el espécimen.

- **q)** Redúzcase la presión de la cámara hasta cero, desmóntese la celda y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.
- r) Úsese el espécimen de ensayo completo para determinar el contenido de agua. Regístrese este valor en un formato para suelos granulares.

CALCULOS

33. Los cálculos se efectúan empleando una disposición tabular a partir de un formato, como se muestra en la Figuras S0308_7 y S0308_8.

INFORME

34. Suelos **cohesivos**

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Formatos con cálculos en forma tabular (Véase Figura S0308_7), para cada muestra ensayada.
- b) Gráficas que muestren la variación del módulo resiliente, con el esfuerzo desviador y de confinamiento (Véase Figura S0308_9), para cada espécimen ensayado.
- c) Dibújense las relaciones de humedad-peso unitario, para los suelos ensayados que muestren líneas de saturación del 100% y 80%, y los puntos (coordenadas) de humedad-peso unitario de los especímenes ensayados.
- d) Observaciones: Anótese cualquier condición inusual u otros datos que sean considerados necesarios, para interpretar apropiadamente los resultados obtenidos.

35. Suelos granulares.

El informe del ensayo del módulo resiliente de suelos granulares, deberá incluir lo siguiente:

a) Hojas de datos con cálculos en forma tabulada para cada espécimen **(Véase Figura S0308_8)**.

- b) Gráficas que muestren variaciones del módulo resiliente, con los esfuerzos desviadores y de confinamiento para cada espécimen, como se muestra en la Figura S0308_9.
- c) Gráfico logarítmico del módulo resiliente contra la suma de los esfuerzos principales, como se muestra en la Figura S0308_10 para cada espécimen.
- d) Para cada gráfico deberán establecerse las constantes de regresión K1 y K2.
- e) Dibújese la relación humedad-peso unitario para el suelo ensayado, mostrando las líneas de saturación del 100% y del 80%, y los puntos (coordenadas) de humedad-peso unitario, del espécimen ensayado.
- f) Observaciones: Anótense condiciones inusuales u otros datos que se consideren necesarios para interpretar adecuadamente los resultados.

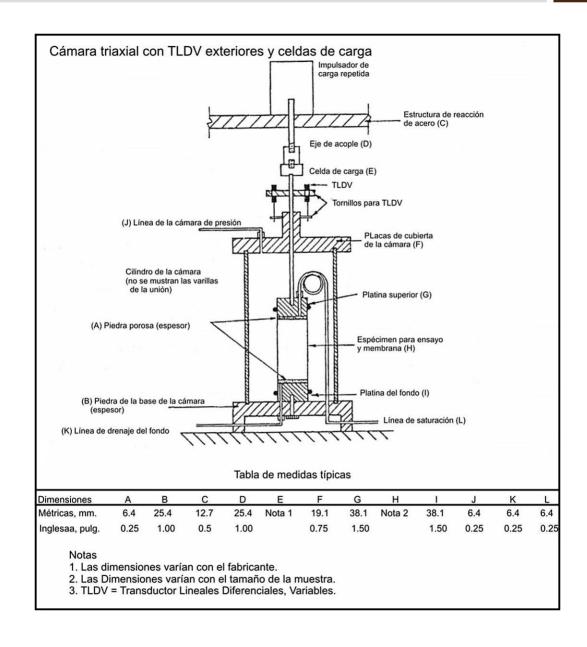


FIGURA S0412_1 CÁMARA TRIAXIAL CON TLDV INTERIORES Y CELDAS DE CARGA

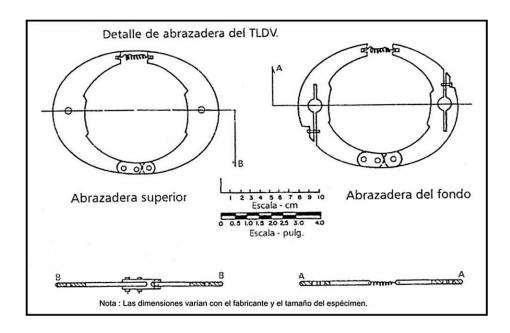


FIGURA S0412_2CÁMARA TRIAXIAL CON TLDV EXTERIORES Y CELDAS DE CARGA

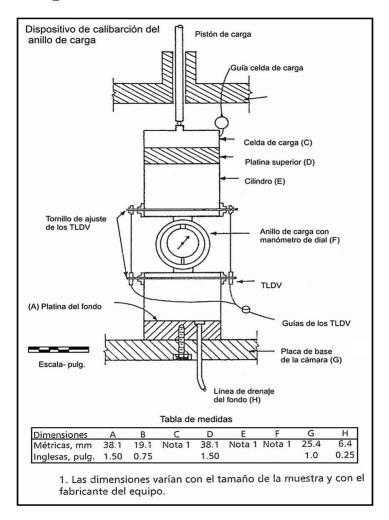


FIGURA S0412_3DETALLE DE LA ABRAZADERA TLDV

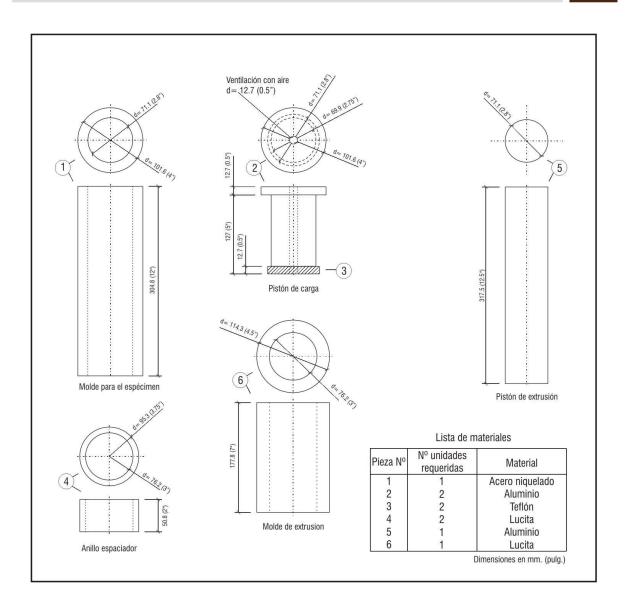


FIGURA S0412_4DISPOSITIVO DE CALIBRACIÓN DEL ANILLO DE CARGA

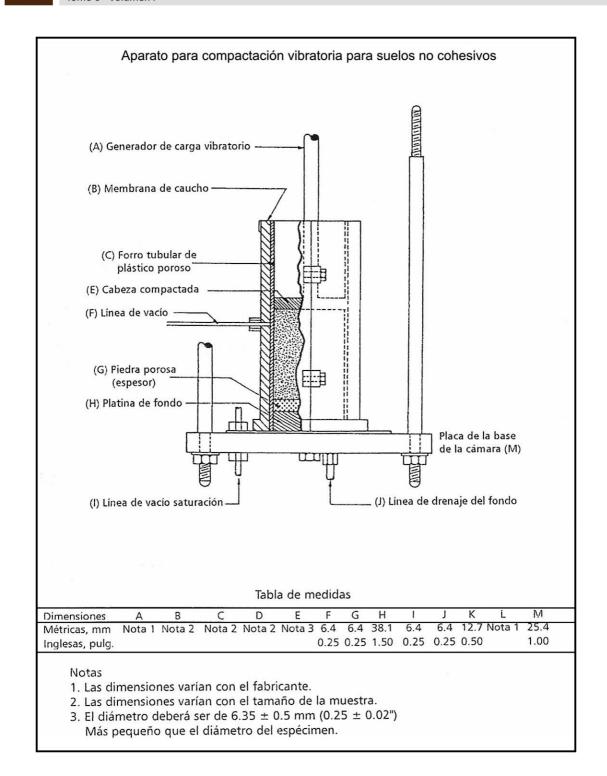


FIGURA S0412_5APARATO PARA COMPACTACIÓN ESTÁTICA

				O RESILIEN				
Sitio		e suelo	+ suelo húmedo, gms			Método de Compactación Espaciamiento vertical Entre abrazaderas TLDV cm (pulg) Constantes TLDV vertical Carga de la celda Contenido de agua después del Ensayo de Resiliencia % Observaciones		
Esfuerzo de desviación nominal G ₄ kPa(lbs/pulg ²)	Presión de la cámara Gg kPa(lbs/pulg²)	Carga de la celda lectura del gráfico		o _d aplicado kPa(lbs/pulg²)	Deformación recuperable TLDV lectura del gráfico	Deformación recuperable mm(pulg)	E _r mm/mm (pulg/pulg)	M _r =O _d /E _r kPa(lbs/pulg ²)
*	cable a TLDV							

FIGURA S0412_6 APARATO PARA COMPACTACIÓN VIBRATORIA DE SUELOS NO COHESIVOS

	MODULO RESILIENT SUELOS GRANUL					
Espesor de la membrana Diámetro neto cm(pulg) Alt espécimen + tapa + base Longitud inicial Lo	Peso inicial recipiente + suelo húmedo, gms Peso final recipiente + suelo húmedo, gms Peso suelo húmedo usado Volumen espécimen de suel Area inicial Ao cm²(pulg²) Volumen AoLo cm³ (pulg³) Peso unitario húmedo Kg/m³ (Ibs/pie³) Agua de compactación, we,	M Se Er cn Co Ti Co C	Método de compactación			
Presión o de la Carga Carga de la cómara o kPa kPa Lectura (tbs/pulg²) (tbs/pulg²) del gráfico kN (ación aplicado recup kPa kPa lectu grafi	nación Deforma recupera del m.m.(p			$\Theta = \sigma_1 + 2\sigma_3$ (1bs/pulg ²)	
*No aplicable a TLDV montado						

FIGURA S0412_8 MÓDULO RESILIENTE PARA SUELOS GRANULARES

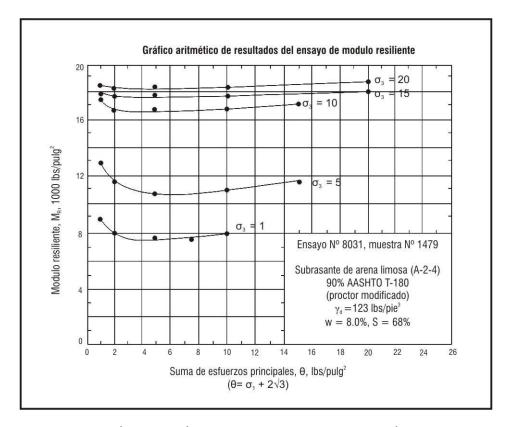


FIGURA S0412_9 GRÁFICO ARITMÉTICO DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE RESILIENTE

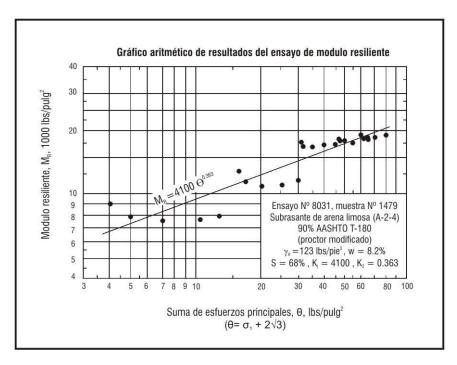


FIGURA S0412_10 GRÁFICO LOGARÍTMICO DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE

CAPÍTULO S0413. DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO CON EL MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO (AASHTO T273)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la succión matricial de muestras inalteradas de suelo, por medio del método del papel de filtro.

USO Y SIGNIFICADO

En todas las obras viales en las cuales se encuentre involucrado el suelo como material de construcción, se deben tener en cuenta las condiciones de saturación parcial, que hacen que la resistencia del suelo se incremente. Por lo tanto, al tener en cuenta el término de la succión en el diseño, se van a obtener obras más económicas y funcionales.

Uno de los usos principales de los datos de succión es la determinación del perfil de humedad de equilibrio. La humedad de equilibrio que se obtiene mucho tiempo después de construida una estructura, como resultado del movimiento del agua del suelo de zonas de baja succión a zonas de alta succión. La medición de la succión en una arcilla parcialmente saturada permite la predicción de dicho perfil de equilibrio. Esto es de mucha importancia debido a la estrecha relación entre la humedad y el CBR, los cuales se utilizan para el diseño de espesores de pavimento.

Otro uso importante de los datos de succión, consiste en la predicción del levantamiento de suelos potencialmente expansivos. En nuestro medio son muy comunes los depósitos arcillosos extensos, con potenciales de expansión altos. En el análisis de dichos depósitos resulta importante la presión de succión, que se genera cuando son sometidos a procesos de compactación, lo que hace variar notablemente el estado de esfuerzos. Por lo tanto, en la predicción teórica del cambio volumétrico de este tipo de suelos, se debe incorporar la succión en las ecuaciones.

Adicional a las aplicaciones anteriores, los datos de succión son útiles en el análisis de problemas en obras construidas en zonas donde se presentan hierbas, árboles u otras plantas.

En estos casos, las raíces producen un fenómeno adicional de desecación, debido a la tensión en la fase de agua, llegando a extraerla del suelo. Por lo tanto, se genera un fenómeno de succión, que origina agrietamientos a la estructura del suelo. Con la medición de la succión se puede evaluar ese potencial y tenerlo en cuenta en el diseño.

DEFINICIONES

1. Succión matricial (hm)

Se define como la presión negativa que debe aplicarse al agua que tiene una composición idéntica a la del suelo, para que alcance el equilibrio con ésta a través de una membrana semipermeable. Esta succión depende de las fuerzas de atracción entre el agua y los cationes del suelo, de las fuerzas de tensión superficial y de las cargas externas.

2. Succión osmótica (hs)

Se define como la presión negativa a la cual debe someterse el agua químicamente pura, para que esté en equilibrio, a través de una membrana semipermeable, con el agua del suelo. Esta componente depende de la presencia de sales disueltas en el agua del suelo y no depende de la sobrecarga; para la mayoría de los efectos prácticos, esta componente se puede despreciar.

3. Succión total del suelo (h)

El término succión total del suelo se define como la presión negativa, con respecto a la presión externa (atmosférica), que debe aplicarse al agua químicamente pura que se encuentra en un depósito, para que alcance el equilibrio con el agua del suelo a través de una membrana semipermeable (permite únicamente el paso a moléculas de agua). La succión total también se expresa como la suma de dos componentes: succión matricial (hm) y succión osmótica (hs).

4. Unidades de medida

La succión en un suelo saturado es cero, pero en suelos muy secos se introducen fuerzas de succión que pueden alcanzar valores de miles de atmósferas. Debido a que este intervalo de variación es muy amplio, se acostumbra a utilizar la escala logarítmica para su descripción. La unidad empleada en este caso es el pF, y se define así:

$$1pF = \log_{10} h$$

Donde:

h = presión negativa expresada en cm de agua.

En la Tabla S0413_1 se incluye la relación entre las diferentes escalas:

TABLA S0413_1

pF	cm de Agua	Psi	kg/cm²	kPa
0	1	0.014	1x10-3	0,098
1	10	0.14	1 x 1 0-2	0,98
2	10 ²	1.42	1 x 1 0-1	9,81
3	10 ³	14.22	1	9,81x101
4	104	142.23	10	9,81x10 ²
5	10 ⁵	1422.32	10 ²	9,81x10 ³
6	10 ⁶	14223.29	10 ³	9,81x104
7	107	142232.94	104	9,81x10 ⁵

5. Método de medición

El método del papel de filtro compara el potencial del agua del suelo con el potencial de retención de agua en un medio poroso, en este caso el papel de filtro Whatman No.42, cuyo rango de medición llega hasta 7pF.

En la *Figura S0413_1* se presenta la curva Succión-Humedad hecha por R.G. Fawcett y N. Collis George (1967) para papel de filtro No.42. La succión se determina así, midiendo directamente la humedad del papel de filtro.

Para el papel de filtro Schleicher and Schuell No. 589 Cinta Blanca se muestra su curva de calibración en la *Figura S0413_2*.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 6. Tubo de PVC de 50.8 mm (2 pulg.) de diámetro y 70 mm de longitud.
- 7. Papel de filtro: puede ser Whatman No.42, el cual se presenta comercialmente en forma de círculos de 70 mm de diámetro, o Schleicher and Schuell No. 589 Cinta Blanca. Para este ensayo se debe disponer de dos círculos de 70 mm y uno de 50 mm, por cada muestra.
- **8.** Vasos plásticos de aproximadamente 50 mm de diámetro en la base y con una altura de 35 mm. Comercialmente, estos vasos se consiguen más largos, pero se pueden cortar para cumplir este último requisito.
- 9. Papel de aluminio perforado. Para cada muestra es necesario un fragmento rectangular de 160 mm por 70 mm y dos circulares de 50 mm de diámetro. Cada uno de estos fragmentos debe perforarse; el diámetro de cada agujero debe ser de aproximadamente 1 mm y la separación máxima entre los mismos de 3 mm.
- **10.** Cinta adhesiva de 76.2 mm (3 pulg.) de ancho.
- 11. Balanza analítica.
- **12.** Recipiente aislante térmico.
- **13.** Equipo complementario y accesorio.

 Pinzas, perforador, cortador de papel y rótulos autoadhesivos.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- **14.** Las muestras deberán ser tomadas con un tubo de pared delgada y transportadas de acuerdo a los procedimientos del Método S0201.
- **15.** Córtese una muestra de 70 mm de longitud; remuévase todo tipo de material extraño adherido a la superficie. Envuélvase la parte lateral de la muestra con el fragmento rectangular de papel de aluminio previamente perforado y colóquense en cada cara los fragmentos circulares.

PROCEDIMIENTO

- **16.** Séllese uno de los extremos del tubo de PVC con el vaso plástico. Con el fin de facilitar al final el proceso de sellado hermético, háganse una serie de cortes a lo largo del vaso, de aproximadamente 2.5 cm.
- 17. Colóquense dos círculos de papel de filtro dentro del tubo y luego la muestra previamente preparada, teniendo cuidado de no obstruir las perforaciones del papel de aluminio y garantizando que la muestra quede en contacto con el papel de filtro.
- **18.** *Colóquese* un círculo de papel de filtro de 5 cm. en la parte superior de la muestra.

Nota 1: En la base de la muestra no se debe colocar papel de filtro porque el agua que a él llega será obtenida por acción de la gravedad.

- **19.** Séllese el montaje con otro vaso plástico de las mismas características que se indicaron en el numeral 16. Hágase una pequeña perforación en la parte superior de éste último vaso, con el fin de sacar el aire que pueda quedar incluido y que quede sometido a presión.
- **20.** Para garantizar la hermeticidad total, envuélvase todo el montaje con la cinta adhesiva de 3 pulg. Colóquese un rótulo autoadhesivo indicando la posición de la cara superior en la cual se colocó el papel de filtro.
- **21.** Déjese el montaje en el cuarto húmedo, donde se deberán mantener constantes las condiciones de humedad y temperatura, por un lapso de 7 días.
- **22.** Al final del séptimo día, desmóntese la muestra y determínese inmediatamente el peso húmedo de los papeles de filtro.
- **23.** Colóquese los papeles de filtro al horno a 100°C durante una hora.
- **24.** Extráigase el papel del horno y colóquese en un recipiente aislante y térmico. Determínese el peso seco del papel.

CÁLCULOS

25. *Determínese* la humedad del papel de filtro así:

$$\%$$
 Humedad= $\frac{A}{B}$ x 100

Donde:

A = Peso del papel de filtro después de secado al homo B Copressor de la figuration de la figuration de la figuration de la figuration de la filtro.

A = Peso del papel de filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de secado al homo B Copressor de la filtro después de la filtro de la filtro después de la filtro de

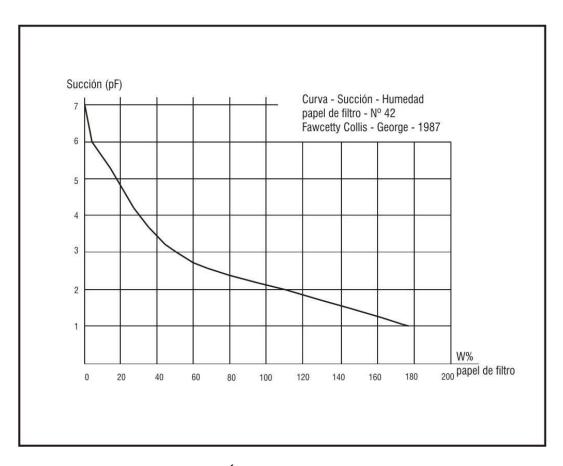


FIGURA S0413_1 CURVA SUCCIÓN HUMEDAD PAPEL DE FILTRO WHATMAN № 42

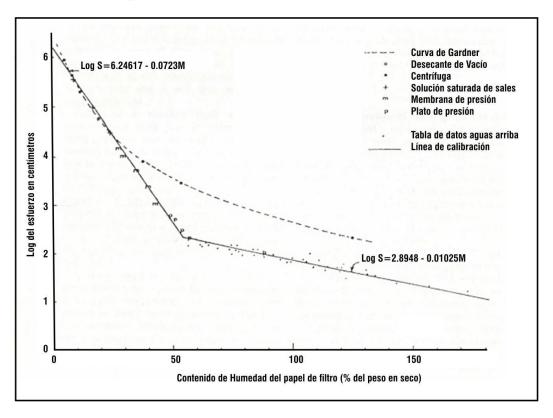


FIGURA S0413_1 CURVA SUCCIÓN HUMEDAD PAPEL DE FILTRO SCHLEICHER AND SCHUELL № 589 CINTA BLANCA

CAPÍTULO SOS ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Y MONITOREO "IN SITU" (ENSAYOS DE CAMPO)

CAPÍTULO S0501. VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO, MÉTODO DEL CONO DE

ARENA

(ASTM D1556 AASHTO T191)

OBJETO

Este método establece un procedimiento para determinar en terreno la densidad de suelos cuyo tamaño máximo absoluto de partículas sea menor o igual a 50 mm (2") en un caso y menor o igual a 150 mm. (6") en el otro.

Este procedimiento está referido a dos equipos utilizados en la medición del volumen de la perforación: cono de arena de 6" (cono convencional) cono de arena de 12" (macro-cono).

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Conos de Densidad

a) Cono Convencional

Es un aparato medidor de volumen, provisto de una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, que controla el llenado de un cono de 6" de diámetro y 60º de ángulo basal. Un extremo termina en forma de embudo y su otro extremo se ajusta a la boca de un recipiente de aproximadamente 5 l de capacidad. La válvula debe tener topes que permitan fijarla en su posición completamente cerrada o completamente abierta. El aparato debe llevar una placa base. (Ver Figura \$0501_1).

Nota 1: El aparato descrito puede usarse con perforaciones de ensaye de aproximadamente 3 litros.

Nota 2: El uso de la placa base facilita la ubicación del cono de densidad, permite reducir pérdidas al transferir el suelo desde la perforación al envase y proporciona una base más sólida en suelos blandos. Esta placa debe considerarse como parte constituyente del cono de densidad durante el ensayo.

b) Macro-cono

Es un aparato medidor de volumen, de forma similar al descrito en 1 a), construido proporcionalmente a una escala mayor y que utiliza la misma válvula que el cono convencional.

A diferencia de este último, el macro-cono controla el llenado de un cono de 12" de diámetro y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 l. *(Ver Figura S0501_2)*

Este equipo permite el control de capas de suelo de espesor mayor que 20 cm. y de hasta 150mm (6") de tamaño máximo absoluto de partículas.

Este aparato utiliza la misma arena normalizada que el cono convencional. La densidad de esta arena debe ser calibrada con una medida volumétrica de altura igual al espesor de la capa por controlar.

2. Arena Normalizada de Ensaye

Se compone de partículas cuarzosas sanas, subredondeadas, no cementadas y comprendidas entre 2 mm y 0,5 mm. Debe estar lavada y seca en horno a 110 ± 5 $^{\circ}$ C.

Para calibrar la arena deben efectuarse cinco determinaciones de su densidad aparente empleando la misma muestra representativa, de acuerdo con el punto 11.

Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones efectuadas no deberá exceder de 1,5 % respecto de la media aritmética de ellas.

3. Depósito para Calibración de la Arena

- a) En el caso del cono convencional, el depósito consiste en un recipiente metálico, de forma cilíndrica, de 165 mm de diámetro interior, impermeable y una capacidad volumétrica entre 3 y 3,5 litros.
- b) En el caso del macro-cono, el depósito consiste en un recipiente metálico, también de forma cilíndrica, de 300 mm de diámetro interior, impermeable y una capacidad volumétrica aproximada de 21 litros.

4. Balanzas

Una con capacidad de 20 Kg. y precisión de 1 g cuando se utilice el cono convencional, y otra de50 Kg. y precisión de 10 g cuando se use el macro-cono.

5. Equipo de Secado

Según Método para Determinar el Contenido de Humedad (50301).

6. Envases

Recipientes con tapa, tarros de hojalata sin costura con tapa hermética, bolsas de polietileno u otros recipientes adecuados para contener las muestras y la arena de ensaye, respectivamente.

7. Herramientas y Accesorios

Picota, chuzo, pala, para despejar o alcanzar la cota del punto de medición; combo, cuchillo,martillo, pala jardinera, punto, cincel, cuchara, brocha y huincha de medir, para cavar la perforación de ensaye; termómetro y placas de vidrio para calibrar los depósitos, regla metálica para enrase, libreta de apuntes y/o fichas de registro de datos.

Calibración de la Arena de Ensayo

8. Determinación de la capacidad volumétrica del depósito.

- a) Coloque el depósito limpio y seco sobre una superficie firme y horizontal.
- b) Llene el depósito con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
- c) Determine la masa de agua que llena el depósito (mW), aproximando a 1 g.
- d) Mida la temperatura del agua y determine su densidad (W), de acuerdo con la *Tabla S0501_1*.
- e) Determine y registre la capacidad volumétrica (VM), aproximando a 1 cm³, dividiendo la masa de agua que llena el depósito por su densidad:

$$V_m = m_W / \rho_W$$

TABLA S0501_1. DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN LA TEMPERATURA

Temperatura	Densidad
(°C)	(g/cm3)
8	0,9999
9	0,9998
10	0,9997
11	0,9996
12	0,9995
13	0,9994
14	0,9993
15	0,9991
16	0,9990
17	0,9988
18	0,9986
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9976
24	0,9973
25	0,9971
26	0,9968
27	0,9965
28	0,9963

9. Determinación de la densidad aparente de la arena de ensaye

- f) Llene el aparato de densidad con la arena de ensaye, evitando cualquier derrame de ésta.
- g) Coloque el depósito limpio y seco en una superficie plana, firme y horizontal; monte sobre él la placa base y posicione el aparato de densidad sobre la placa.
- h) Abra la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.
- Retire el aparato de densidad, la placa base y el exceso de arena. Enrase cuidadosamente con una regla metálica, evitando producir vibración. Una vez efectuado el enrase, asiente la arena dando golpes suaves en el manto del depósito.
- j) Determine la masa de arena que lleva el depósito (mA), aproximando a 1 g.
- k) Determine la densidad de la arena (A), dividiendo la masa de ésta que llena el depósito por la capacidad volumétrica del depósito:

$$\rho_A = m_A / V_M$$

- Efectúe esta determinación cinco veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,5%, respecto de la media aritmética de ellas. De no cumplirse esta condición, repita el ensayo.
- m) Determine y registre la densidad aparente de la arena de ensaye como el promedio de los cinco valores obtenidos. Exprese el resultado en g/cm³, con una aproximación de dos decimales.

Nota 3: Un lapso prolongado entre esta determinación y el empleo de la arena en terreno puede alterar la densidad por un cambio en su contenido de humedad o en su gradación efectiva.

10. Determinación de la masa de arena que llena el cono basal

- a) Llene el aparato de densidad con arena. Determine y registre su masa (mI), aproximando a 1 g.
- b) Coloque la placa base sobre una superficie plana, firme y horizontal, asentando el aparato de densidad sobre la placa.
- c) Abra la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.
- d) Cierre la válvula. Determine y registre la masa del aparato más la arena remanente (mF),aproximando a 1 g.
- e) Determine y registre la diferencia entre las masas inicial y final como la masa de arena que llena el cono basal (mC), aproximando a 1 g:

$$m_{\scriptscriptstyle C} = (m_{\scriptscriptstyle I} - m_{\scriptscriptstyle F})$$

f) Efectúe esta operación tres veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las tres determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,0 %, respecto de la media aritmética de ellas.

11. Determinación de la densidad del suelo en el terreno

Determinación del volumen de la perforación de ensaye:

- a) Seleccione y prepare la superficie del punto por controlar, nivelándola si fuese necesario para conseguir un buen asentamiento de la placa.
- b) Coloque la placa base sobre la superficie nivelada.
- c) Proceda a excavar dentro de la abertura de la placa base, iniciando la excavación con un diámetro menor que ésta y afinando luego hacia los bordes. La profundidad de la excavación debe ser similar al espesor de la capa bajo control.

Nota 4: Al ejecutar la excavación se debe tener cuidado de no alterar las paredes del suelo que delimitan la perforación, especialmente en el caso de suelos granulares.

 d) Coloque todo el suelo excavado en un envase o bolsa, el cual debe cerrar herméticamente para conservar la humedad del suelo y evitar posibles pérdidas de material o contaminación.

Nota 5: En caso que al efectuar la perforación se encuentre una o más partículas cuyos tamaños máximos absolutos excedan los valores indicados en 1 (50 o 150 mm según corresponda), éstas no serán devueltas a la excavación, debiéndose determinar su masa y volumen), para restar luego dichos valores a las respectivas medidas de terreno.

- e) Determine y registre la masa del aparato de densidad con el total de arena (mti), aproximando a 1 g. Asiente el aparato de densidad sobre la placa, abra la válvula y ciérrela una vez que la arena ha dejado de fluir.
- f) Determine y registre la masa del aparato más la arena remanente (mtf), aproximando a 1 g.
- g) Determine y registre la masa de arena contenida en la perforación de ensaye (mP), aproximando a 1 g.

$$m_P = (mt_i - mt_f) - m_C$$

h) Recupere la arena de ensaye y déjela en un envase aparte para su posterior acondicionamiento.

Previo a su nueva utilización, ésta debe cumplir con los requisitos establecidos en el punto de arenas normalizadas de ensaye.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

i) El volumen de la perforación de ensaye (VP) se calcula como:

 $V_p = m_p / \rho_A$

Donde:

V_P: Volumen de la perforación de ensaye (cm³)

mp: Masa de arena contenida en la perforación de ensaye (g)

ρ_A: Densidad aparente de la arena de ensaye (g/cm³)

12. Determinación de la masa seca del material extraído de la perforación de ensayo.

MANUALES TÉCNICOS

- a) Inmediatamente después de extraer todo el material de la perforación de ensaye, determine y registre su masa húmeda (mh), aproximando a 1 g. Envase en frascos o bolsas, herméticamente a fin de conservar su humedad y evitar posibles pérdidas de material o contaminación.
- b) Extraiga una muestra representativa de este material, del tamaño indicado en la Tabla S0501_2, para suelos cuyos tamaños máximos absolutos de partículas no superen los 50 mm y sean controlados con el cono convencional.
 En el caso de suelos con tamaño máximo absoluto de partículas de hasta 150 mm (6") y que, por lo tanto, deban controlarse mediante el macro-cono, considere una masa mínima de muestra de 24 Kg. para la determinación de humedad.

En el caso de suelos naturales de tamaños máximos mayores que 3" (80 mm) y menores o iguales que 6" (150 mm), controlados con el macro-cono, considere para la determinación de humedad una masa mínima de muestra de 36 kg.

TABLA S0501_2. MASA MÍNIMA DE MUESTRA PARA DETERMINAR LA HUMEDAD EN SUELOS DE TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO MENOR O IGUAL QUE 50 MM.

Tamaño máximo absoluto de Partículas (mm)	Masa mínima de muestra (g)
50	3.000
25	1.000
12,5	750
5	500
2	100
0,5	10

Determine la humedad (w) de la muestra en laboratorio, según Método para Determinar el

Contenido de Humedad (Método S0301).

Nota 6: En suelos en que predominan las partículas gruesas es recomendable determinar la humedad sobre el total del material extraído.

CÁLCULOS

13. Determinación de la masa seca del material extraído de la perforación de ensaye. Determine la masa seca del material extraído de la perforación de ensaye mediante la expresión:

$$m_s = \frac{m_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

m_s: Masa seca del material extraído de la perforación de ensaye (g).

m_h: Masa húmeda del material extraído de la perforación de ensaye (g), sin incluir las partículas de tamaño superior a 50 mm en caso de controlarse la densidad mediante Método Próctor Modificado u 80 mm en caso de efectuarse mediante Densidad Relativa, según corresponda.

w: Humedad del suelo determinada según Método S0301 (%).

14. Determinación de la densidad del suelo.

La densidad seca del suelo se determina mediante la expresión:

$$\rho_d = m_S / V_P$$

Donde:

ρ_d: Densidad del suelo seco (g/cm³).

m_s: Masa seca del material extraído de la perforación de ensaye (g)

V_P: Volumen de la perforación de ensaye (cm³), sin incluir las partículas de tamaño superior a 50 mm en caso de controlarse la densidad mediante Método Próctor Modificado u 80 mm en caso de efectuarse mediante Densidad Relativa, según corresponda.

Nota 7: La densidad del suelo puede expresarse también como densidad del suelo húmedo, indicando además la humedad correspondiente (w) de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\rho_h = m_h / V_P$$

Donde:

ρh: Densidad del suelo húmedo (g/cm³).

Nota 8: Combinando las últimas fórmulas puede expresarse la densidad del suelo seco en función de la densidad del suelo húmedo y del porcentaje de humedad, mediante la relación:

$$P_d = \frac{P_h}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

ρ_d: Densidad del suelo se∞ (g/cm³).
 ρ_h: Densidad del suelo húmedo (g/cm³).

w: Humedad del suelo (%).

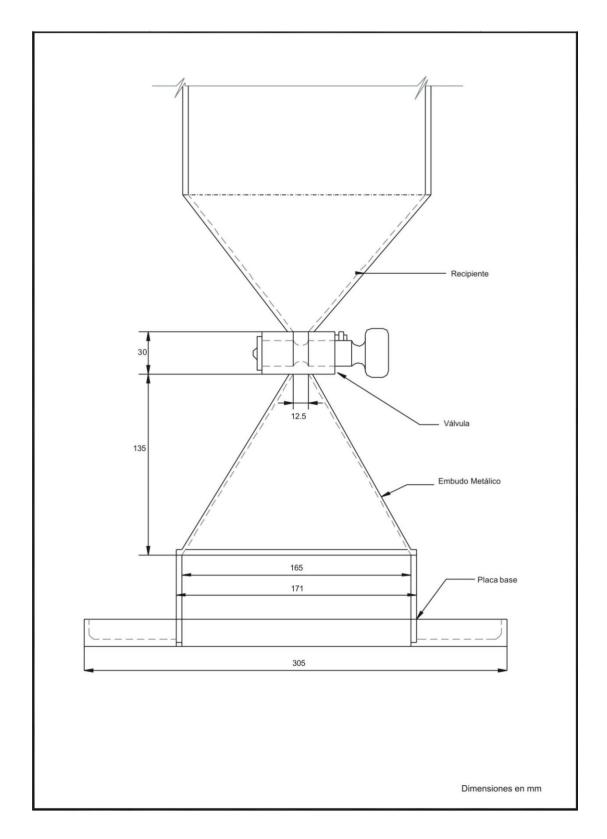


FIGURA S0501_1. ESQUEMA DE CONO CONVENCIONAL

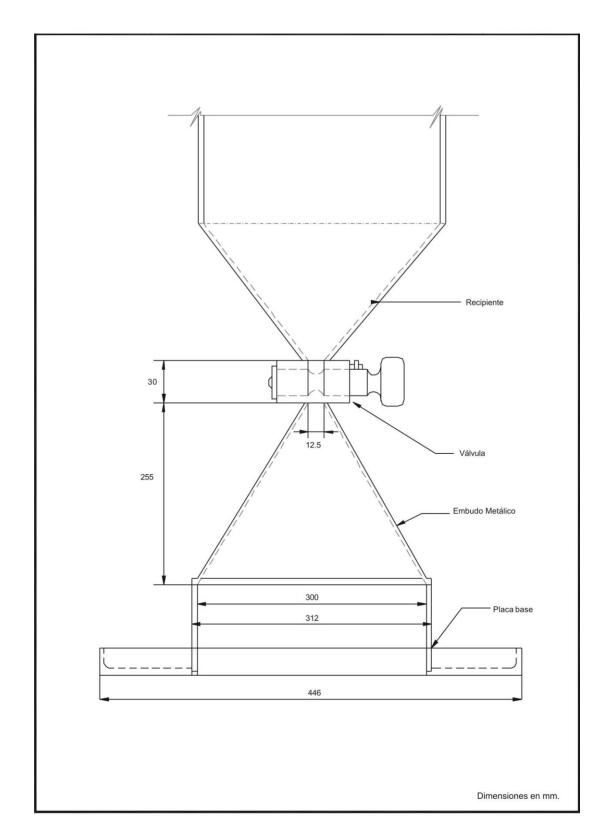


FIGURA S0501_2. ESQUEMA DE MACRO-CONO

Secretary	S	Contrato/Camino:							
3 4 5 5 Responsable ensaye: Fecha de informe: V Bº Jefe Laboratorio:	Sec	or:							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V B 9 Jeffe Laboratorio:	Trar	no a Controlar:							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V B 9 Jefe Laboratorio:	Mat	erial:							
3 4 5 5 Responsable ensaye: Pecha de informe: V B 9 Jefe Laboratorio:	Fec	a Control:							
3 4 5 5	Res	ponsable Control Terreno:							
Responsable ensaye: You Bo Jefe Laboratorio:				-	2	3	4	5	9
Responsable ensaye: Pecha de informe: V° B° Jefe Laboratorio:		Kilómetro							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B** Jefe Laboratorio:		Capa/Cota/Estrato							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B** Jefe Laboratorio:		Lado							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio:		Espesor (cm)							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° B° Jefe Laboratorio:	4	Densidad arena normalizada de ensayo	(g/cm ³)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: You Bo Jefe Laboratorio:	В	Masa suelo húmedo	(6)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: Y ^o B ^o Jefe Laboratorio:	O	Masa húmeda de particulas mayores a 50 u 80 mm	(g) (a)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: Y ^o B ^o Jefe Laboratorio:	٥	Masa húmeda de control (B - C)	(6)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: Y ^o B ^o Jefe Laboratorio:	Ш	Masa inicial de arena	(6)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio:	щ	Masa arena remanente	(6)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio:	O	Masa arena en cono basal	(6)						
Responsable ensaye:	I	Volumen perforación de ensaye (E - F - G) / A	(cm) 3						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio;	-	Volumen partículas mayores a 50 u 80 mm (*)	(cm) ³						
Responsable ensaye:	7	Volumen de la masa de control (H-1)	(cm)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio;	¥	Densidad húmeda (D/J)	(g/cm) ³						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° B° Jefe Laboratorio;	_	Densidad seca K/(1+W/100)	(g/cm) ³						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° B° Jefe Laboratorio:	Σ	DMCS	(g/cm) 3						
Responsable ensaye:	z	Porcentaje de compactación (L / M) * 100	(%)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio:		HUMEDAD: w							
Responsable ensaye: Fecha de informe: V* B* Jefe Laboratorio:	0	Masa recipiente + suelo húmedo	(6)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° Bº Jefe Laboratorio:	۵	Masa recipiente + suelo seco	(a)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° Bº Jefe Laboratorio;	Ø	Masa recipiente	(6)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° Bº Jefe Laboratorio;	œ	Masa suelo seco (P - Q)	(a)						
Responsable ensaye: Fecha de informe: V° Bº Jefe Laboratorio:	>	Humedad 100 *(O - P) / R	(%)						
onio	Ň (*)	ota : Partículas mayores a 50 mm cuando el control s Partículas mayores a 80 mm cuando el control s	e efectúe en base a ce efectúe en base	a Próctor Modificado a Densidad Relativa	(Método 8.102.7) (Método 8.102.8)	Responsable ensave:			
						echa de informe:			
						√ B° Jefe Laboratorio:			

FIGURA \$0501_3. FORMATO TIPO, DENSIDAD DE TERRENO

CAPÍTULO S0502. VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO, MÉTODO DEL CILINDRO PENETRANTE (AASHTO T204)

OBJETO

Este método de ensaye establece y define los procedimientos a seguir en terreno para utilizar el penetrómetro dinámico de cono portátil, PDCP, para la identificación de materiales inadecuados y caracterizar capas granulares y sub-rasantes.

Se utiliza en la prospección de suelos en terreno que no sean gravosos, es decir arenas y suelos finos, hasta una profundidad máxima de 1 m, medido desde la cota o superficie de ensaye. Este ensaye debe complementarse con calicatas que permitan obtener muestras de suelos yestratigrafías del terreno.

Sirve para la caracterización geotécnica de suelos de sub-rasantes, reconocimientos rápidos del terreno, controles de calidad de rellenos y capas estabilizadas durante la construcción, detección de anomalías de capas construidas, evaluación de las capas granulares y sub-rasantes de pavimentos existentes y detección de suelos con características de materiales homogéneos o inadecuados. Los resultados se correlacionan con parámetros del suelo, tales como: la Capacidad de Soporte de California(CBR), el módulo resiliente (MR), la resistencia a la compresión no confinada (qu) y la densidad relativa de suelos no cohesivos (Dr).

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Penetrómetro Dinámico de Cono Portátil (PDCP)

Es un equipo, que permite medir la penetración dinámica por golpes de una masa (martillo), que se deja caer libremente desde una altura constante. La penetración es función de la resistencia al corte de la(s) capa(s) que está(n) siendo traspasada(s) por el ensaye. La energía recibida por el yunque es traspasada a la barra y al cono, que perforan las capas de la estructura del material; es, por lo tanto, una medida de la resistencia al corte del suelo.

La **Figura S0502_6** muestra un esquema general de las características principales del equipo.

Existen a lo menos 3 tipos de equipos, que se pueden clasificar según el peso del martillo, tal como se indica en la *Tabla S0502_1*. El tipo más empleado es el liviano.

TABLA S0502 1. CLASIFICACIÓN DE PENETR	OMETROS DINAMICO	S PORTATILES
----------------------------------------	------------------	--------------

Características/Clasificación	Liviano	Mediano	Súper Pesado
Masa martillo (Kg.)	8	12	63,5
Altura de ca	57,5	60	75
Ф ext. Barra (mm)	16	33,3	41,3 a 44,5
Φ int. Barra (mm)		20,6	28,6 a 31,8
Largo de la barra que penetra (m)	1,0	0,965	1,0 a 3,0
Peso Equipo Completo Aproximado (Kg.)	15.0		
Φ cono (mm)	20	35,7	51
Angulo cono (º)	60 .	60	60
Prof. máx. de auscultación (m)	1,2	8	25

Como se muestra en la Figura S0502_6, el equipo está compuesto por una barra provista de una punta cónica (cono), atornillada, o embutida con un sistema de bayoneta, a una barra de penetración que se hinca por la energía que recibe el yunque al ser golpeado por el martillo.

a) Cono

Consiste de una punta cónica, de acero, de 60º, seguida de una extensión cilíndrica y una transición cónica de largo igual al diámetro del cono, entre la extensión cilíndrica y la barra de extensión (Figura S0502_9). Se une a la barra de penetración, generalmente, por medio de una unión de hilo o de un pasador tipo bayoneta, de manera que no haya desacople; el cono puede ser perdido o retenido para recuperarlo y utilizarlo en ensayes posteriores. En el caso de reutilizarlo, el desgaste máximo permitido es de 2 mm respecto del diámetro del cono y 1 mm respecto al largo de la punta; la punta cónica no debe presentar deterioros.

b) Barra de penetración

Las dimensiones de las barras son las que muestra la Figura S0502_10. En el caso del equipo liviano, materia de este método, se acepta una extensión de 400 mm, por medio de una barra que se une mediante un hilo. Las barras son de acero al carbono con contenidos de entre 0,8 y 1,2%, templado en baños de aceite. Antes y después de cada ensaye verifique que las barras permanezcan rectas y sin deformaciones; para ello hágalas rodar sobre una superficie plana. Los operadores deben ser capaces de corregir cualquier anomalía. Las barras por utilizar deben ser de un mismo diámetro y la deflexión en el punto medio, medida a partir de una línea recta que une los extremos, no debe exceder 0,5 mm por cada metro.

c) Martillo

El martillo, de acero, debe estar provisto de un orificio central, con un diámetro de 3 a4 mm mayor que el diámetro de la barra de extensión (Figura S0502_7). La razón entre el largo y el diámetro del martillo debe estar entre 1 y 2. Debe caer libremente, sin ningún obstáculo que pueda afectar su aceleración o frenado.

No se debe dejar caer el martillo con una cuerda o de otra forma que no sea directamente con la mano, ya que impide una caída libre. Asegúrese que golpea al yunque correctamente, es decir, que la energía se transmita lo más limpiamente posible, sin deformar el yunque.

d) Yunque

El yunque, debe ser de acero; debe fijarse rígidamente a las barras (Figura S0502_8). Su diámetro no debe ser menor que 100 mm, ni mayor que la mitad del diámetro del martillo. El eje, varilla guía y el martillo no deben presentar deformaciones, aceptándose una máxima de 0,5 mm por metro; al yunque va unido el mango, que también sirve para indicar en la regla, la profundidad que ha alcanzado la penetración.

2. Regla de medición

La regla de medición, debe estar graduada en cm y subdividida en mm.

3. Otros elementos

También se requiere: una plomada o nivel de burbuja, para medir la verticalidad de las barras; hojas de registros, un reloj cronómetro, un piso o banquillo que permita alcanzar la parte superior y guantes de seguridad para todos los que entren en contacto con el equipo mientras operan.

PROCEDIMIENTO

4. Estado del equipo

Antes de efectuar una serie de ensayos, verifique las condiciones del equipo; compruebe el peso del martillo, las dimensiones del cono, la limpieza general, las longitudes y distancias, en particular la altura de caída del martillo, también, que el roce de éste con la barra sea nulo y que el acople de las barras al cono y al yunque y entre ellas sea el correcto.

Antes de cada ensaye, compruebe que las barras no presenten deformaciones y que los hilos se encuentren en buen estado, permitiendo el acople de las barras y del cono.

5. Personal

Opere el equipo con 3 personas: una encargada de anotar las lecturas obtenidas, otra para observar la verticalidad de las barras, sujetando el penetrómetro y la tercera, levantando y dejando caer el martillo. Eventualmente, también puede ser operado por 2 personas, siempre que se asegure que la verticalidad del instrumento se encuentre dentro de los rangos admisibles.

6. Posición del equipo

El equipo debe colocarse en forma vertical; la desviación máxima admisible es de 3º respecto de la vertical. El equipo debe estar firmemente soportado y el cono y las barras deben ser guiados al comienzo del ensayo, de modo de mantener rectas las barras.

7. Preparación de la superficie

- a) En el caso de ensayes de capas subyacentes en pavimentos de asfalto u hormigón, extraiga un testigo cilíndrico que alcance las capas granulares o de suelo sub-rasante, según se requiera.
- b) Para ensayes sobre el terreno natural, remueva la capa superior del suelo vegetal y prepare la superficie hasta dejarla lo más horizontal posible. Cuando el ensayo se efectúe en el interior de una calicata, hágalo sobre una superficie horizontal y registre la profundidad o cota de ensayo.

8. Profundidad de auscultación

Se recomienda una profundidad de exploración del orden de 800 mm. Algunas aplicaciones computacionales, utilizando modelos de multicapas no lineales, indican que se podrían alcanzar hasta profundidades entre 800 mm y 1200 mm; por lo anterior, no se recomienda efectuar este ensaye a profundidades mayores que 1,2 m.

9. Procedimiento de ensayo

El ensayo, debe ajustarse a los siguientes pasos o etapas:

- a) Fije el instrumento hundiendo el dispositivo con la reglilla en la superficie preparada en el suelo.
- b) Coloque el instrumento en forma vertical, usando un nivel de burbuja o una plomada y sujételo con el dispositivo con la reglilla.
- c) El segundo operador sube el martillo deslizante hasta la marca superior y después lo deja caer libremente sobre el yunque.
- d) El tercer operador registra la penetración lograda en mm para cada golpe, anotando en una planilla como la que muestra la Figura S0502_1.
- e) Golpeé con el martillo con una frecuencia de 5 a 15 golpes por min, sin pausa.
- f) Si requiere efectuar una detención, gire el cono y mida el torque necesario para el giro, para tener una medida del roce producido entre el sistema de barras y cono, con el suelo perforado.
- g) Si el instrumento se sale de la vertical, no corrija la posición, pues el contacto de la barra con las paredes de la perforación afecta los resultados.
- h) Cuando el ángulo de la inclinación de la barra sea mayor a 3º, provocando que el martillo deslice sobre la barra y no caiga libremente, suspenda y abandone el ensaye, anotando las condiciones cuando ello se produjo.
- i) Si se usa una plomada adosada a la regla de medición, esta no debe desplazarse más de 5 cm de la vertical. Anote la lectura inicial y registre la lectura final después de cada golpe en la ficha correspondiente.
- j) Cuando use cono perdido, asegúrese que el cono no se suelte de la barra prematuramente, al hincar o girar las barras.

k) Se recomienda despreciar la primera lectura, por razones de acomodo entre el cono y la masa de suelo.

CÁLCULOS

Los resultados del ensayo PDCP se presentan mediante diferentes gráficos y diagramas característicos.

10. Curva PDCP

Es la representación de la evolución de la penetración del equipo con la profundidad; en el eje de las ordenadas se indica la profundidad (normalmente hasta 1.000 mm) y en el eje de las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar esas profundidades. La *Figura* **50502_2** muestra un ejemplo de este gráfico.

11. Índice de Penetración o número D (DN)

El número D indica el avance de la penetración por golpe y se expresa en mm. Corresponde a la pendiente de la curva PDCP y refleja la penetración del cono por cada golpe. Se calcula dividiendo el avance acumulado, expresado en mm, por el número de golpes dados para lograr esa penetración; se expresa como mm/golpes. Algunos valores típicos representativos de diferentes suelos son los que se indican en la *Tabla S0502 2*.

TABLA S0502_2. VALORES TÍPICOS DE D PARA DISTINTOS MATERIALES

Material	DD (mm/golpe)
Base de Piedra Chancada	1,7
Sub-Base de Grava	4,0
Subrasante de Arcilla	25,5

12. Diagrama estructural

Es un gráfico en que en el eje de las ordenadas se representa la profundidad del terreno y en el eje de las abscisas el número D. Cuando el valor D se hace constante, existe uniformidad en las propiedades del suelo; por el contrario, las variaciones implican cambios en las propiedades del material, como por ejemplo, variaciones en el contenido de humedad o la densidad, o bien, un cambio de capas; la variación de propiedades también se puede representar por un cambio de pendientes. La *Figura S0502_3* muestra un ejemplo de la representación gráfica de este parámetro.

13. Número Estructural o NE

Es el número de golpes requerido, para penetrar hasta una profundidad determinada. Así, NE800 representa el número de golpes necesarios para alcanzar hasta 800 mm por debajo de la superficie.

También, puede definirse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$NE_{ZI} = \frac{h_i}{D_i} \cdot 100$$

Donde:

NEzi: Número estructural de una capa material i.

hi: Espesor de la capa de material i.

Di: Índice de penetración de la capa i.

El número estructural para el total del pavimento, NEzp, es la suma de los NEzi o el número de

golpes del martillo, requerido para penetrar el espesor total del pavimento considerado. Es decir:

$$NE_{ZP} = \sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{D_i}$$

14. Curva de Balance Estructural, BEz

La resistencia a la penetración a distintas profundidades se puede expresar también como un porcentaje del número de golpes necesario para penetrar hasta una profundidad evaluada. Por ejemplo:

$$BE_Z = \frac{NE_Z}{NE_m} \cdot 100$$

Donde:

BEz: Balance estructural para la profundidad z (%).

NEz: Número de golpes, requerido para penetrar z.

NEm: Número de golpes requerido para penetrar la máxima profundidad de exploración.

El valor de BEz representa el porcentaje de la capacidad estructural total que aportan los materiales existentes hasta una profundidad z determinada. Por ejemplo, si el BE100 = 40%, significa que hasta una profundidad de 100 mm el aporte estructural a la resistencia del suelo es de un 40%.

Los valores de NEz expresados como un porcentaje del NEm, se llevan a un gráfico que representa la curva de Balance Estructural, tal como se muestra en el ejemplo de la *Figura S0502_4*.

Es importante hacer notar que como normalmente la capacidad estructural de un pavimento decrece con la profundidad, una variación uniforme (sin discontinuidades) de la BEz, significa que el pavimento se encuentra en estado de equilibrio estructural.

15. Curva de Balance Estándar, Bz

Define una función por medio de curvas que describen la situación idealizada (teórica) entre la capacidad estructural y la profundidad, para la estructura de un pavimento. Por ejemplo, para B=0, el suelo recibe proporcionalmente todo el número estructural, NEz, en toda la profundidad de auscultación.

La expresión matemática para la familia de curvas es la siguiente:

$$B_Z = \frac{H \cdot (400 \cdot B + (100 - B)^2)}{4 \cdot BH + (100 - B)^2}$$

Donde:

Bz: Número estructural, en porcentaje, del **NEz** necesario, para penetrar 100% de la profundidad evaluada.

H: La profundidad, en porcentaje, dada como:

$$H = \frac{profundidad(i)}{profundidad total} \cdot 100$$

B: Parámetro geométrico, que corresponde al valor máximo, medido sobre la diagonal que sirve de eje de la simetría de la hipérbola rectangular. Este valor puede ser cualquier entero, normalmente se dan los valores de 60, 0 y -60.

Las curvas de balance estructural sirven para comparar la curva de terreno con la situación teórica y poder clasificar un suelo de acuerdo a la comparación de su curva de balance estructural y la de balance estándar más aproximada. No siempre coinciden con las curvas de balance estructural, tal como muestra el ejemplo de representación gráfica de este parámetro que se muestra en la *Figura S0502_5*.

16. Relación con el CBR

Considerando que el parámetro de suelo que más se ha correlacionado con el ensaye de penetración de cono portátil es el CBR, se propone una ecuación de carácter general que correlaciona estas dos variables. La expresión que mejor representa el CBR, según los antecedentes disponibles a la fecha, es:

$$\log CBR = 2.60 - 1.26 \cdot (\log D)$$

Donde:

D: Índice de penetración (mm/golpe)

CBR: Capacidad de Soporte de California (%)

Cabe señalar, finalmente, que en la literatura existen correlaciones entre los resultados del penetrómetro de cono portátil con otros parámetros del suelo como por ejemplo el Módulo Resiliente, la Compresión no Confinada y la Densidad Relativa, las que no se han incluido en este método por considerarse ellas de carácter preliminar.

Contrato:										
Camino :							Rol:			
Sector:										
Fecha del er	nsaye :									
Dm:				F		d inicial (m	m) :		300	
tipo de base	;				Tiempo	inicio:	Tiempo	término		
Duración on	sayo (min) :				7					
Duración en			CALCULOS		⊣ ⊢	DAT	06		CALCULOS	
Nº Golpes	Lectura	Profund.		CBR	\dashv \vdash	N° Golpes	Lectura	Profund.	D	CBR
Acum.	(mm)	(mm)	(mm/golpe)	(%)	1 1	Acum.	(mm)	(mm)	(mm/golpe)	(%)
0	10	(le	ctura sin cálculos		- I	27			1	
1	25	315	15	13.1	-1 F	28			 	
2	30	320	5	52.4	1 F	29			1 1	
3	45	335	15	13.1	7 F	30				
4					7 6	31				
5					T	32				
6					7 [33				
7						34				
8						35				
9						36				
10						37				
11					-	38				
12					⊣ ⊢	39				
13					⊣ ⊢	40				
14 15			-		\dashv \vdash	41 42			 	
			 		$+$ \vdash				+	
16			+		\dashv \vdash	43			+	
17 18			 		$+$ \vdash	44 45			+ +	
19			 		\dashv \vdash	46			+ +	
20			 		\dashv \vdash	47			+ +	
21			 		\dashv \vdash	48			 	
22			 		1 F	49			1 1	
23					7 F	50				
24					7 F	51				
25					7 6	52				
26						53				
OBSERVA	CIONES:									
2) Golpe 0	corresponde : Profund. (n	a la lectura nm) = Prof. i	- tiempo término inicial ncial + lectura (· -1,26 (Relación	i+1) - lectu	ra(i) I	D (mm/golp	pe) = Lectura	ı (i+1) - Lec	ctura (i)	
Entidad a d	argo del con	trol:								
	responsable									
						FIR	MA	_		

FIGURA S0502_1 FORMULARIO TIPO, CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA PORTÁTIL, DATOS DE TERRENO Y CORRELACIÓN CON EL CBR

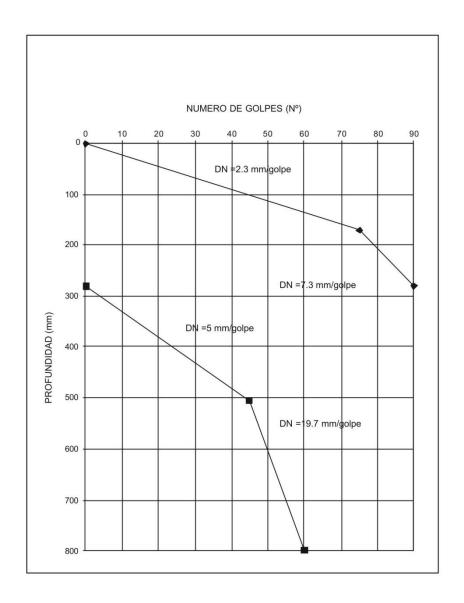


FIGURA S0502_2 CURVA CDCP REPRESENTACIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES EN LA PROFUNDIDAD

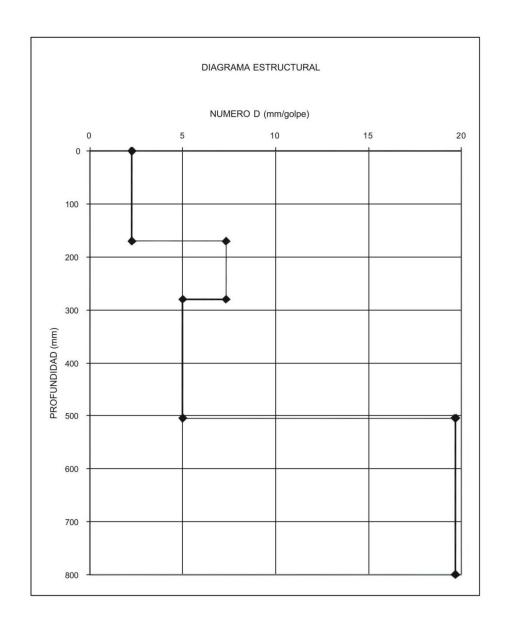


FIGURA S0502_3 REPRESENTACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN CON LA PROFUNDIDAD

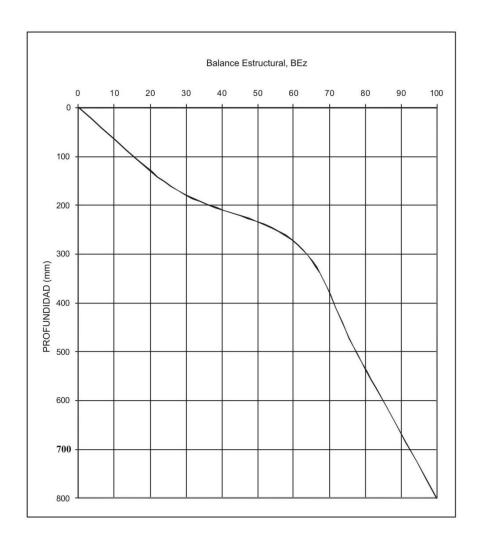


FIGURA S0502_4. CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL

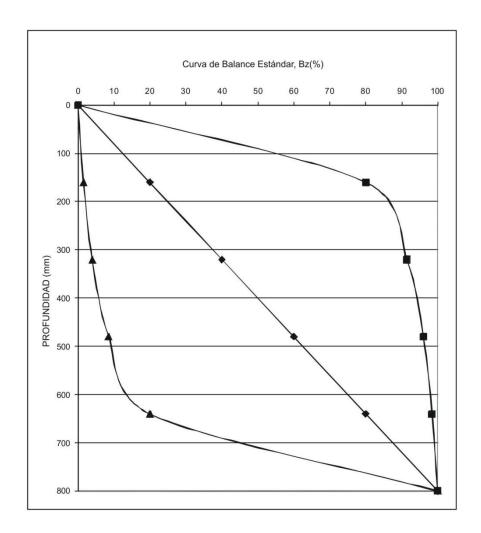
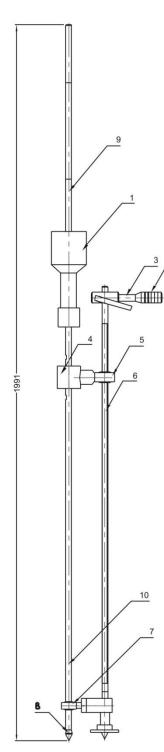


FIGURA S0502_5 CURVA DE BALANCE ESTÁNDAR



DISEÑO PREFERIDO CON TOPE DE PLANCHA

N° DE LA PIEZA	DESIGNACION	Nº DE PIEZAS	MATERIAL		
1	Martillo deslizante	1	Acero corriente		
2	Asa	1	Acero inoxidable		
3	Brazo con tornillo para fijar el asa	1	Acero inoxidable		
4	Yunque	1	Acero corriente		
5	Rótula superior deslizante	1 .			
6	Barra de referencia	1	Acero inoxidable		
7	Rótula inferior deslizante	1			
8	Cono de penetración	1	Acero inoxidable		
9	Barra guia del martillo	1	Acero inoxidable		
10	Barra de penetración	1	Acero inoxidable		

FIGURA S0502_6CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA, ESQUEMA GENERAL

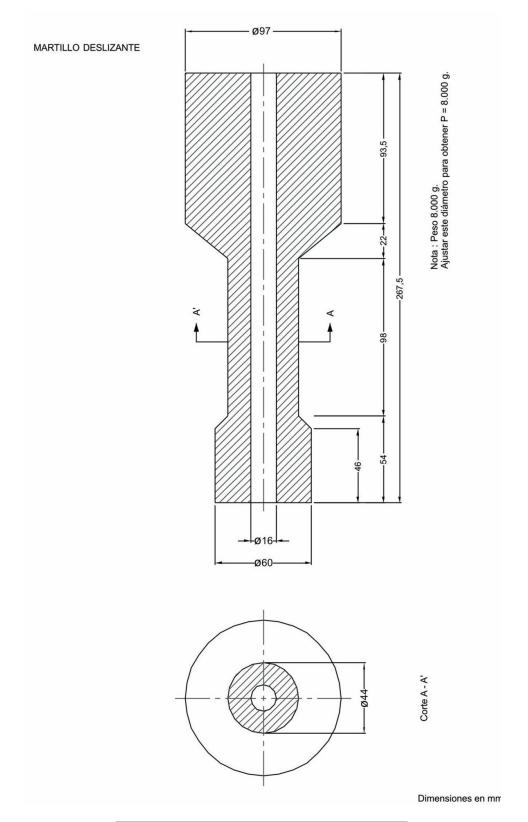


FIGURA S0502_7 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

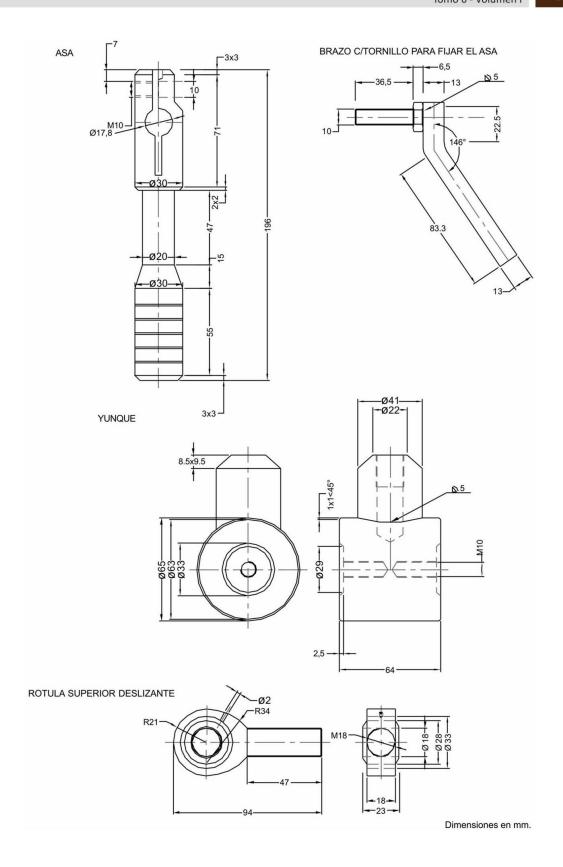


FIGURA S0502_8CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

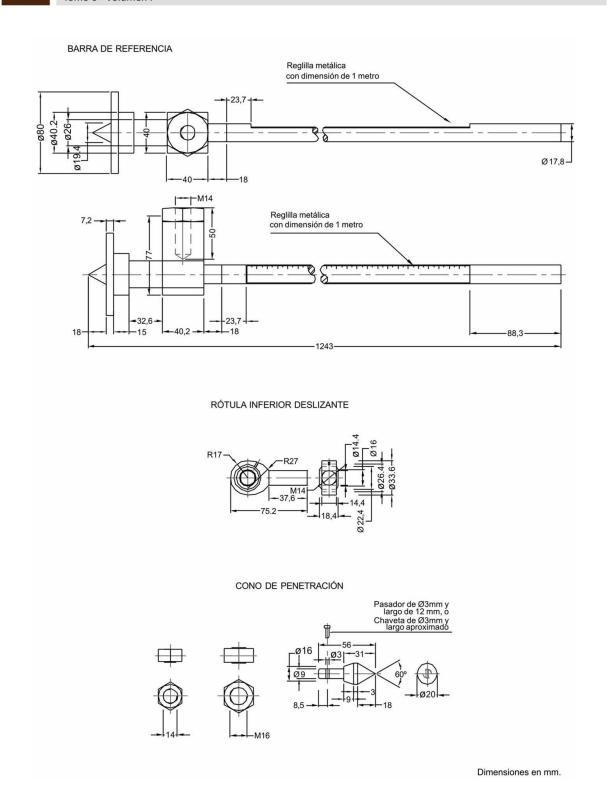
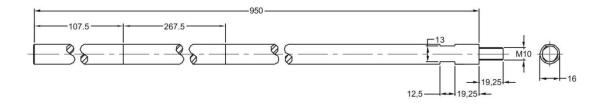
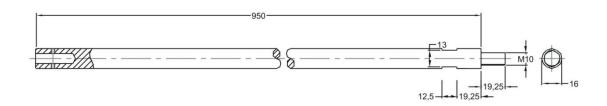


FIGURA S0502_9 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

BARRA GUIA DEL MARTILLO



BARRA DE PENETRACION



Dimensiones en mm.

FIGURA S0502_10.CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

CAPÍTULO S0503. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN SUELOS MEDIANTE UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO (SPEEDY) (AASHTO T217)

OBJETO

Este método de ensayo se emplea para determinar la humedad de suelos mediante un probador de humedad de gas a presión con carburo de calcio.

Este método no deberá emplearse en materiales granulares que tengan partículas tan grandes que afecten la precisión del ensayo; en general, cualquier cantidad apreciable retenida en el tamiz de 4,75 mm (No.4) es perjudicial. El probador súper 200 D es adecuado para ser usado en el ensayo de los áridos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Probador o cápsula de carburo de calcio de gas a presión.
- 2. Balanza, con capacidad de 2 Kg. y precisión de 0.1 g.
- **3.** Dos esferas de acero de 31,75 mm (1¼"), de diámetro.
- 4. Cepillo y trapo para limpieza.
- **5.** Cuchara para medir el reactivo de carburo de calcio.
- **6.** Reactivo de Carburo de Calcio.
 - El carburo de calcio deberá estar finamente pulverizado y deberá ser de un grado tal que pueda producir gas acetileno de por lo menos 0.14 m³/Kg. (2.25 pie³/lb) de carburo.
- **7.** La vida de almacenamiento de este reactivo es limitada, de suerte que deberá emplearse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

PROCEDIMIENTO

- **8.** Cuando se emplee el probador de 26 g, colóquense tres cucharadas (aproximadamente 24 g) de carburo de calcio, en el cuerpo del probador de humedad. Cuando se utilice el probador súper 200 D para áridos, colóquense 6 cucharadas (aproximadamente 48 g) de carburo de calcio, en el cuerpo del probador de humedad. Debe tenerse extremo cuidado para evitar que el carburo de calcio se ponga en contacto directo con agua.
- 9. Pésese una muestra del peso exacto especificado por el fabricante del instrumento en la balanza proporcionada, y colóquese la muestra en la tapa del probador. Cuando se utilice el probador de 26 g, colóquense dos esferas de acero de 31,75 mm (1¼") de diámetro, en el cuerpo del probador con el carburo de calcio.
- **10.** Si la humedad de la muestra excede el límite del manómetro de presión, (12% humedad para el probador de áridos o 20% para el de suelos), deberá emplearse una muestra de la mitad de tamaño y

la lectura del dial deberá multiplicarse por 2. Este método proporcional no es aplicable directamente al porcentaje en peso de la balanza, en el probador súper 200 D.

- **11.** Con el vaso de presión en una posición aproximadamente horizontal, insértese la tapa en el vaso de presión y séllese la unidad, apretando la abrazadera, teniendo cuidado de que el carburo no se ponga en contacto con el suelo hasta cuando se haya logrado un sello completo.
- **12.** Levántese el probador hasta una posición vertical de tal manera que el suelo en la tapa caiga dentro del vaso de presión.
- 13. Agítese vigorosamente el aparato de manera que todos los terrones se rompan hasta permitir que el carburo de calcio reaccione con toda la humedad libre que se halle disponible. Cuando se están empleando las bolas de acero en el probador y cuando se use el probador de tamaño mayor para áridos, deberá agitarse el instrumento con un movimiento de rotación de tal manera que, las bolas de acero o el agregado no dañen el instrumento, ni hagan que las partículas del suelo queden embebidas en el orificio que conduce al diafragma de presión.

La agitación deberá continuarse por lo menos durante 1 minuto con suelos granulares, y hasta por 3 minutos con los restantes suelos, de manera que se logre la reacción completa entre el carburo de calcio y la humedad libre. Deberá dejarse tiempo para permitir la disipación del calor generado por la reacción química.

- **14.** Cuando deje de moverse la aguja, léase el dial manteniendo el instrumento en una posición horizontal a la altura del ojo.
- **15.** Analícese el peso de la muestra y la lectura del dial.
- 16. Con la tapa del instrumento apuntando en dirección opuesta al operador (para evitar la aspiración de vapores), elimínese lentamente la presión del gas. Vacíese el vaso de presión y examínese el material en cuanto a terrones. Si la muestra no está completamente pulverizada, el ensayo deberá repetirse empleando una nueva muestra. Límpiese perfectamente la tapa de carburo y suelo, antes de verificar otro ensayo.
- **17.** La lectura del dial, es el porcentaje de humedad con respecto al peso húmedo y deberá convertirse a peso seco. Con el probador súper 200 D, la lectura del dial es el porcentaje de humedad con respecto al peso seco, y no se requiere ningún cálculo adicional.

CÁLCULOS

18. El porcentaje de humedad con respecto al peso seco del suelo debe determinarse a partir de la curva de conversión *(Véase Figura S0503_1).*

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

Normalmente es suministrada una curva similar a la de la Figura S0503_1., con el probador de humedad. Sin embargo para cada probador, deberá verificarse la precisión de su manómetro o la de la curva de conversión.

La precisión del manómetro del probador deberá verificarse empleando un juego de calibración provisto de manómetro normal (el cual puede obtenerse del fabricante del aparato).

En caso de discrepancia, el manómetro del probador deberá ajustarse de acuerdo con el manómetro normal. Para comprobar la exactitud de la curva de conversión, deberá efectuarse una calibración de las lecturas del medidor empleando suelos preparados localmente, con contenidos de humedad conocidos. Así mismo, pueden ser necesarios ensayos adicionales para extender la curva de conversión para porcentajes dehumedad superiores al 44%. **(Véase Figura S0503_1).**

Puede ser más conveniente para el empleo del aparato en el terreno, preparar una tabla de lectura del probador de humedad contra contenidos de humedad al horno para el probador.

19. Determínese el porcentaje de humedad con aproximación al porcentaje entero más próximo.

(1) OBRA:						(2) PROCEDENCIA	A:		
⁽²⁾ USO:			(3) N° DE CAMPO:		⁽⁴⁾ N° DE SOLICITUD	-	(5) FECHA:		
	(8) PROF (cm)	(9) MUESTRA N°	⁽¹⁰⁾ % ©	(11) % ©	(7) UBICACION	(8) PROF (cm)	(9) MUESTRA N°	⁽¹⁰⁾ % ©	(11) % ©
	(GIII)	- "	SPEEDY	CORREGIDO	 	(UIII)		SPEEDY	CORREGIDO
PROMEDIO					(12) PROMEDIO				
PROMEDIO		Τ	_		PROMEDIO		Т	-	
					-				
(12) PROMEDIO					(12) PROMEDIO				
TROWLEDIO		T	-		TROWLDIO		Τ		
			+						
			-						+
(12) PROMEDIO					PROMEDIO				
PROMEDIO		Τ	_		PROMEDIO			_	
			+						
(12) PROMEDIO			_		(12)				
PROMEDIO		1	_		PROMEDIO		1		
(12) PROMEDIO			-		(12) PROMEDIO			-	
PROMEDIO		<u> </u>	_		PROMEDIO		<u> </u>	-	
			1						
(12)			_		(47)			_	
PROMEDIO		T			(12)PROMEDIO		T		
									1
(12)					(12)			_	
PROMEDIO					PROMEDIO				
(13) OBSERVACIO	ONES:								
	REALIZADO PO	R:		_	REVISADO POR:			_	

FIGURA S0503_1 PLANILLA DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDADMÉTODO DEL CARBURO (SPEEDY)

TABLA S0503_1

MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD MÉTODO DEL CARBURO (SPEEDY)

OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar

(2) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra

(3) USO: Se debe indicar cual será o es uso del material a ensayar

(4) Nº DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada.

(5) Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el Nº de solicitud de servicio con la cual se contrato el ensayo.

(6) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza el ensayo.

(7)UBICACIÓN O PROGRESIVA: Distancia que existe entre una muestra y otra

(8)PROFUNDIDAD: Es la distancia que existe desde la superficie hasta el punto donde se tomo la muestra.

(9) MUESTRA: Indica el número de cada muestra recolectada

(10)SPEEDY: Se debe colocar el resultado del % de humedad obtenido con el speedy

(11)% w CORREGIDA: Es la desviación que existe entre la humedad en el horno contra el speedy.

(12) PROMEDIO: Es el valor medio de los % de humedad obtenidos

(13) OBSERVACIONES: Se debe anotar cualquier comentario relevante que se quiera resaltar

NOTA: Solo se debe utilizar un formato por speedy

CURVA DE CALIBRACION Ensayo carburo de calcio

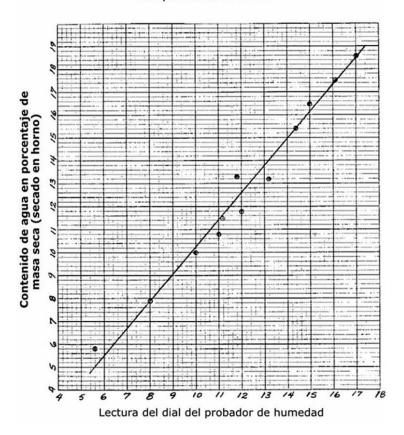


FIGURA S0503_2 CURVA DE CALIBRACIÓN (TÍPICA)

CAPÍTULO S0504.ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO T222)

OBJETO

Este método trata el procedimiento de ensayes de placa de carga estática no repetida sobre sub-rasantes, capas de pavimento flexibles y suelos, tanto en estado natural como compactados, con objeto de proporcionar información para su uso en evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos.

DEFINICIONES

1. Deflexión

Descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

2. Deflexión residual

Diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final a consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

3. Deflexión elástica

Recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

EQUIPOS Y MATERIALES

4. Equipos de ensaye en terreno

El equipo necesario para ensayes en terreno, es el siguiente:

- a) Sistema de reacción, como un camión o remolque o una combinación de ambos; un marco anclado, u otra estructura pesada con suficiente masa para producir la reacción deseada sobre la superficie por ensayar. El peso muerto por emplear será de a lo menos 12 Mg. Los puntos de apoyos (ruedas en caso de los vehículos) deberán estar a lo menos a 2,5 m de la circunferencia de la placa de carga de mayor diámetro usada.
- b) Conjunto hidráulico de carga con dispositivo de apoyo esférico, capaz de aplicar y retirar la carga en incrementos. La gata deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la carga máxima necesaria y estar equipada con un medidor calibrado con precisión suficiente para indicar la magnitud de la carga aplicada.
- c) Un juego de placas de ensaye circulares de acero, de no menos de 25 mm de espesor, confeccionadas de modo de poder disponerse en forma piramidal para asegurar su rigidez y de diámetros que varíen entre 150 y 760 mm (6 a30"). Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberá exceder

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

los 150 mm. Placas de aleación de aluminio de 40 mm de espesor pueden ser usadas en lugar de las placas de acero.

Nota 1: Se recomienda un mínimo de cuatro placas de diferentes tamaños para ensayes con fines de evaluación y diseño de pavimentos. Para evaluar únicamente, se puede usar una placa simple que proporcione un área igual a la de contacto del neumáticos y que corresponde a la combinación más crítica de carga por rueda y presión de inflado que pueda considerarse. Con objeto de obtener información referente a la variación del soporte (por ejemplo, la determinación del soporte relativo de un terreno a través de un período anual) puede emplearse una placa simple, cualquiera de las indicadas.

- d) Tres o más diales micrométricos: graduados en unidades de 0,025 mm (0,001") y capaces de registrar una deflexión acumulada de a lo menos 25 mm u otro aparato equivalente para medir deflexiones.
- e) Una viga porta dial sobre la que se montan los diales micrométricos. La viga se compone de un tubo o cañería de 60 mm de diámetro o de un ángulo de acero de 75 x 75 x 6 mm o equivalente, de un largo mínimo de 4,75 m. Debe apoyarse en soportes ubicados a más de 2,0 m del borde de la placa de ensaye o rueda más cercana, o soporte. El sistema completo de medición de deflexión debe protegerse adecuadamente de los rayos directos del sol.
- f) Equipos varios, incluyendo un nivel de burbuja para preparar la superficie por ensayar, así como las herramientas necesarias para operar el equipo y cortar una probeta de suelo no perturbado en un anillo de ensaye de consolidación. Balanzas, hornos y diversas herramientas para hacer determinaciones del contenido de humedad.

5. Equipos de ensaye en laboratorio

Un consolidómetro.

PROCEDIMIENTO

6. Preparación del área de ensayo

Donde deba realizarse un ensaye de carga no confinado, despeje el área de suelo a ser ensayada hasta la cota deseada de la superficie sub-rasante. El área despejada deberá ser a lo menos el doble del diámetro de la placa para eliminar sobrecargas o efectos de confinamiento.

Si la sub-rasante va a ser construida con material de relleno, construya un terraplén de prueba de por lo menos 0,75 m de altura, usando el mismo material a emplear en el relleno, compactado con el contenido de humedad y a la densidad que se requiera para la construcción. Retire del área a ser ensayada cualquier material suelto y déjela nivelada; tenga mucho cuidado en no perturbar el suelo en el área de ensaye, especialmente en caso de materiales granulares.

Para ensayes confinados, el diámetro del área circular de excavación deberá ser el suficiente para que permita acomodar la placa de ensaye seleccionada.

Centre cuidadosamente la placa del diámetro seleccionado bajo el dispositivo de reacción. Acomode las placas de diámetros menores restantes concéntricas con y sobre la placa principal; ajuste el nivel de la placa de ensaye con una capa delgada de arena y yeso o arena fina, usando la mínima cantidad de material necesario para lograr un apoyo uniforme. Para prevenir pérdidas de humedad del terreno durante la prueba de carga, cubra el terreno expuesto hasta 2 m de la circunferencia de la placa de ensaye con plástico o papel impermeable.

7. Disposición de elementos de ensayo

Apoye la placa soportante de 760 mm de diámetro sobre la arena o yeso; gire y mueva la placa sucesivamente para proporcionar un apoyo uniforme. Centre las placas de 610 mm y 457 mm de diámetro sobre la placa de 760 mm de diámetro y centre la gata hidráulica sobre la placa de 457mm de diámetro.

Si es necesario suplir, arme un dispositivo (cajón) entre la placa superior y la gata. Si se usa un anillo de acero para medir la carga, colóquelo entre la gata y la rótula, la que a su vez, se apoya contra el dispositivo de reacción de carga. Por razones de seguridad no deben emplearse suples entre la rótula y el dispositivo de reacción. El dispositivo de reacción de carga debe ser lo suficientemente largo de modo que sus soportes queden a lo menos a 2,5 m de la placa soportante. Una viga de acero entre dos camiones cargados proporciona un buen dispositivo de reacción.

Use tres diales micrométricos para medir la deformación del suelo bajo la acción de la carga. Coloque estos micrómetros de modo que sus vástagos queden apoyados sobre la placa de 760mm de diámetro, a no más de 6 mm del borde exterior y dispuestos a 120° unos de los otros. Asegure los micrómetros a una estructura cuyos soportes estén a lo menos 2 m del borde de la placa de ensaye.

8. Asentamiento del equipo

Emplear uno de los siguientes procedimientos iniciales:

a) El procedimiento de asentamiento N° 1; consiste en apoyar el sistema de carga y la placasoportante mediante la aplicación de una carga de 3,2 kN (7 kPa), cuando el espesor de diseño del pavimento sea menor que 380 mm o una carga de 6,4 kN (14 kPa), cuando el espesor de diseño del pavimento sea de 380 mm o más. Deje la carga de apoyo hasta que prácticamente se haya producido la deformación total. Luego tome una lectura en los tres diales micrométricos, los cuales se registran como la lectura "cero"; la carga de apoyo también es considerada como carga "cero". Se puede emplear una carga cíclica, menor a la carga de asentamiento, para asegurar un buen apoyo de los aparatos y de la placa de ensaye.

b) El procedimiento de asentamiento N° 2; consiste en que después que el equipo haya sido instalado adecuadamente, con toda la carga muerta (gata, placas, etc.) actuando, se asienta la placa de ensaye y el conjunto con una rápida aplicación y descarga de una carga suficiente para producir una deflexión de no menos de 0,25 mm y no mayor que 0,50 mm, indicada por los diales. Cuando las agujas de los diales se estabilicen, luego de la descarga, se reasientan las placas con la aplicación de la mitad de la carga registrada que produjo la deflexión entre 0,25 mm y 0,50 mm. Cuando las agujas de los diales se hayan estabilizado nuevamente, ajuste cuidadosamente cada dial a su marca "cero".

9. Procedimiento de carga

Sin retirar la carga de asentamiento, prosiga con los procedimientos de aplicación de carga indicados en el punto anterior a) y b).

- a) En el procedimiento de aplicación de carga N° 1, aplique las cargas a una velocidad moderada en incrementos uniformes. La magnitud de cada incremento de carga será la que permita registrar un número suficiente de puntos de carga deflexión (no menos de seis), de modo de poder trazar con precisión una curva carga - deflexión. Después que cada incremento de carga ha sido aplicado, mantenga hasta lograr una razón de deflexión de no más de 0,25 mm por minuto, para 3 minutos consecutivos.
- b) Registre la carga y las lecturas finales para cada incremento de carga; continúe este proceso hasta obtener la deflexión total deseada o hasta que alcance la capacidad de carga del equipo, lo que ocurra primero. En este punto mantenga la carga hasta que el aumento de la deflexión no exceda a 0,025 mm por minuto durante tres minutos consecutivos. Registre la deflexión total, después disminuya la carga hasta el valor empleado para ajustar en cero los diales y mantenga esta carga hasta que la razón de recuperación no exceda 0,025 mm para tres minutos consecutivos. Registre la deflexión a la carga de ajuste "cero".
- c) Promedie cada conjunto de lectura y registre ese valor como la lectura del asentamiento promedio.
- d) En el procedimiento de aplicación de carga N° 2, aplique dos incrementos de carga de 16 kN (35 KPa) en cada incremento, manteniéndola hasta que la razón de deformación sea inferior a 0,025 mm por minuto. Lea los tres diales micrométricos al final del proceso en cada incremento de carga. Continúe hasta completar los 32 kN (70 kPa) de carga; calcule la deflexión promedio, determinando el movimiento total entre "cero" y 70 kPa incrementados para cada dial.

10. Módulo de reacción no corregido

$$k_{u} = \frac{70kPa}{deflexi\'{o}n\ promedio}$$

Si el valor de ku es menor que 56, el ensaye se considera terminado y la carga puede ser retirada. Si el valor de ku fuera 56 o más, aplique incrementos de carga adicionales de 16 kN (35 kPa) hasta que se alcance un total de 96 kN (210 kPa), permitiendo que cada incremento de carga permanezca hasta que la razón de deformación sea menor de 0,025 mm por minuto. Lea los tres diales micrométricos al final del proceso en cada incremento de carga.

11. Muestreo de suelo

Obtenga una muestra no perturbada del material de fundación para ensayes de laboratorio que determine la corrección por saturación que se debe aplicar al valor del ensaye del terreno. La muestra no perturbada debe ser lo suficientemente grande como para obtener dos probetas para el consolidómetro por lado (por ejemplo, a la misma elevación). Tome la muestra en un recipiente adecuado para sellar y preservar el contenido de humedad hasta que los ensayes de corrección en laboratorio puedan realizarse. Cuando el ensaye de placa sea realizado directamente sobre una sub-rasante de material cohesivo, obtenga la muestra no perturbada de la fundación a la misma cota a la que se efectúa el ensaye, pero a un costado más bien que debajo de la placa. Cuando el ensaye se ejecuta en un material de base granular que descansa sobre un material cohesivo y cuando el espesor de la capa granular sea menor que 1,90 m, tome la muestra inalterada del material cohesivo en la parte inferior de la capa granular.

12. Temperatura

Con un termómetro suspendido cerca de las placas de ensaye, lea y registre la temperatura ambiente cada media hora.

INFORME

Además del registro de carga, deflexión y los datos de temperatura, prescritos en 4, el informe deberá incluir todas las condiciones asociadas y observaciones pertinentes al ensaye, incluyendo las siguientes:

- a) Fecha.
- **b)** Hora de inicio y desarrollo del ensayo.
- c) Lista de personal.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Cualquier irregularidad en el procedimiento acostumbrado.
- f) Cualquier condición irregular observada en el sitio de ensaye
- g) Cualquier observación sobre irregularidad durante el ensaye.

GRÁFICO Y CÁLCULO DE LA RELACIÓN CARGA – DEFORMACIÓN

13. Curva carga – deformación

Cuando el valor ku, calculado en 4.5 sea inferior que 56 MPa/m no es necesario trazar la curva carga - deformación. Sin embargo, cuando el valor ku es igual a 56 MPa/m o superior, es necesario trazar la curva carga - deformación y corregirla, debido a efectos tales como asentamiento deficiente de las placas, comportamiento carga - deformación no lineal o falla por corte. La carga unitaria (kPa) sobre la placa se dibuja en función de la deflexión promedio de cada incremento de carga; la deflexión se obtiene de las lecturas de cada dial entre "cero" y el final de cada incremento de carga.

Cuando se promedian las tres lecturas de diales, los valores deben ser examinados cuidadosamente para asegurarse que resulta un promedio razonable. Si la relación carga deformación corresponde a una línea recta, que no pasa por el origen, corrija la curva como muestra la Figura S0504_1. Generalmente, la curva carga - deformación se aproximará a una línea recta entre las cargas unitarias de 70 y 210 kPa. La corrección consiste en dibujar una línea recta, paralela a la porción recta de la curva trazada y que pase por el origen; se requiere el buen criterio del especialista cuando se corrige la curva carga - deformación. Si la curva no es lineal en toda su extensión, base la corrección de la línea recta en la pendiente promedio de la curva, por medio de a lo menos tres puntos en la región de la curva que tenga menor curvatura.

14. Cálculo del módulo de reacción ku.

Se puede calcular el módulo de reacción no corregido del suelo ku con los datos de terreno usando la fórmula:

$$k_{u} = \frac{70kPa}{deflexi\'on\ promedio\ en\ mm}$$

Cuando la curva carga - deformación es innecesaria como se indica en 13, la deflexión promedio es el promedio de la deflexión total registrada en cada uno de los tres diales entre el "cero" y el término del incremento de carga. Si se requiere la curva carga - deformación, la deflexión promedio es el valor obtenido de la curva corregida para una carga de 70 kPa.

El valor de ku calculado con la fórmula anterior debe ser corregido por flexión de las placas soportantes y por saturación del suelo como se indica en los párrafos que siguen:

15. Corrección por Flexión en las Placas

Aún cuando las placas soportantes se empleen agrupadas, se presenta cierta flexión que redunda en una mayor deflexión en el centro de la placa que en el borde donde se miden las deflexiones.

Puesto que el módulo de reacción es realmente una medida del volumen desplazado bajo la carga, la menor deflexión medida en el borde resulta en un valor de ku mayor que el que realmente existe. La magnitud de la flexión de la placa está relacionada solamente con la resistencia del suelo ensayado, por lo que, para un determinado valor de ku, la corrección es siempre igual.

Esta corrección ha sido determinada por ensayes y se presenta por la curva en la *Figura S0504_2*. La corrección se efectúa entrando en la Figura S0504_2 con el valor calculado de ku en las ordenadas y proyectando horizontalmente hasta la intersección con la curva dibujada. El valor corregido del módulo de reacción del suelo (ku) queda determinado proyectando verticalmente la intersección en la curva y leyendo su valor en las abscisas.

16. Corrección por Saturación del Suelo

El diseño de pavimento se basa generalmente en el módulo de reacción del suelo saturado. Como no es posible saturar el suelo en terreno previo al ensaye y rara vez éste se encontrará saturado en su estado natural, el valor del ensaye de terreno debe corregirse para estimar el valor si el suelo llegara a estar saturado.

La corrección por saturación no se requiere normalmente cuando se evalúan pavimentos de más de tres años. Los suelos no cohesivos son insensibles a la saturación, de manera que el ensaye de terreno en este tipo de suelos no requiere de la corrección por saturación.

El método de corrección por saturación que habitualmente se aplica, es una adaptación del ensaye de consolidación. El ensaye de corrección debe realizarse con muestras no perturbadas del suelo del sitio del ensaye de terreno. En caso que el ensaye de terreno se ejecute sobre la superficie de una capa de material no cohesivo, pero que descansa sobre un material cohesivo, la corrección por saturación debe determinarse por ensayes con el material cohesivo.

El factor de corrección por saturación es la razón de deformación entre una probeta de consolidación con su contenido de humedad natural y la deformación de una probeta saturada, ambas bajo una presión de 70 kPa. Dos probetas de material inalterado se instalan

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

en la celda del consolidómetro; una se ensaya con el contenido de humedad "in situ" y la otra se satura después de aplicar la carga de apoyo. Ambas probetas se someten a la misma carga de asentamiento, 7 ó 14 kPa, que fue usada en el ensaye de terreno (ver 8 a) y b)). Mantenga aplicada la carga de asentamiento sobre la probeta con el contenido de humedad natural hasta que se produzca toda la deformación, en ese momento realice la lectura "cero" del dial de deformación vertical; sin retirar la carga de asentamiento, aplique una carga adicional de 70 kPa sobre la probeta y permita que se desarrolle la deformación completa; tome la lectura final del dial de deformación vertical.

Deje saturando la otra muestra en el consolidómetro bajo la carga de asentamiento de 7 ó 14 kPa. Una vez que la probeta esté saturada, se registra la lectura "cero", luego sin retirar la carga de asentamiento aplique una carga adicional de 70 kPa; mantenga esta carga sobre la probeta hasta que la deformación se haya completado, tras lo cual registre la lectura final del dial.

En ciertos tipos de suelos, se puede producir un hinchamiento bajo la carga de asentamiento al saturarse. Esto puede producir una extrusión del material por encima del anillo del consolidómetro, de modo que al aplicar la carga de 70 kPa, el material puede fluir sobre el anillo más bien que consolidarse, provocando resultados erróneos. Para prevenirlo, cuando se trabaja con suelos que experimentan hinchamientos o sospechosos de serlos, el anillo del consolidómetro no debe quedar completamente lleno con el suelo; se debe dejar una huelga en la cara superior de la probeta, generalmente 1,5 mm, para permitir el hinchamiento.

Cuando la probeta por saturar se rebaja para permitir el hinchamiento, debe también rebajarse la probeta por ensayar con contenido de humedad natural en igual cantidad, de manera que las alturas de las probetas sean similares al comienzo del ensayo.

La corrección por saturación será aplicada en proporción a la deformación de las dos probetas bajo una carga unitaria de 70 kPa, como sigue:

$$k = k_u = \left[\frac{d}{d_s} + \frac{b}{1905} \left(1 - \frac{d}{d_s} \right) \right]$$

Donde:

k: Módulo de reacción del suelo corregido (MPa/m)

k_u: Módulo de reacción del suelo no corregido por saturación (MPa/m)

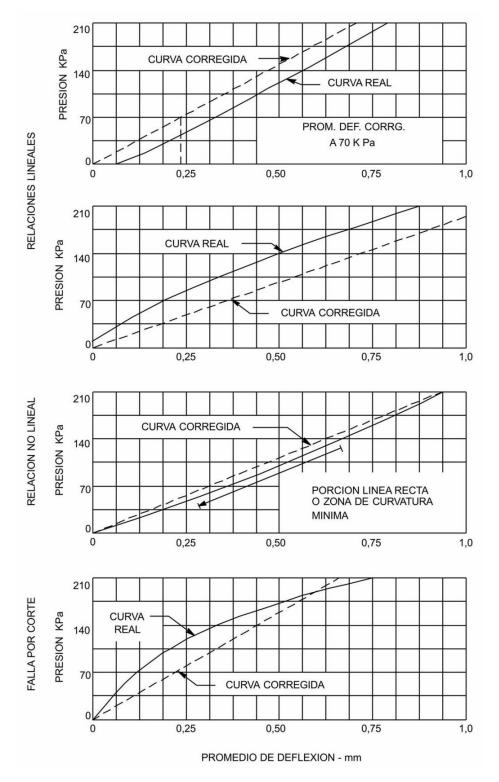
 d: Deformación de una probeta en consolidación con el contenido de humedad de terreno, bajo una carga unitaria de 70 kPa. (mm.)

d_s: Deformación de una probeta saturada en consolidación bajo una carga unitaria de 70 kPa. (mm).

Espesor del material granular (mm).

17. Espesor del material granular (mm).

En ningún caso el valor de d/ds a usar en la fórmula anterior debe ser mayor que 1,0. Esta fórmula es aplicable para el cálculo del valor k corregido, haya o no una capa granular. Sin embargo, si el espesor de dicha capa es igual o mayor a 1,90 m, no es necesario introducir la corrección por saturación del suelo cohesivo subyacente.



Nota. La curva corregida puede estar sobre o bajo la curva real

FIGURA S0504_1.CORRECCIÓN CURVA PRESIÓN – DEFORMACIÓN

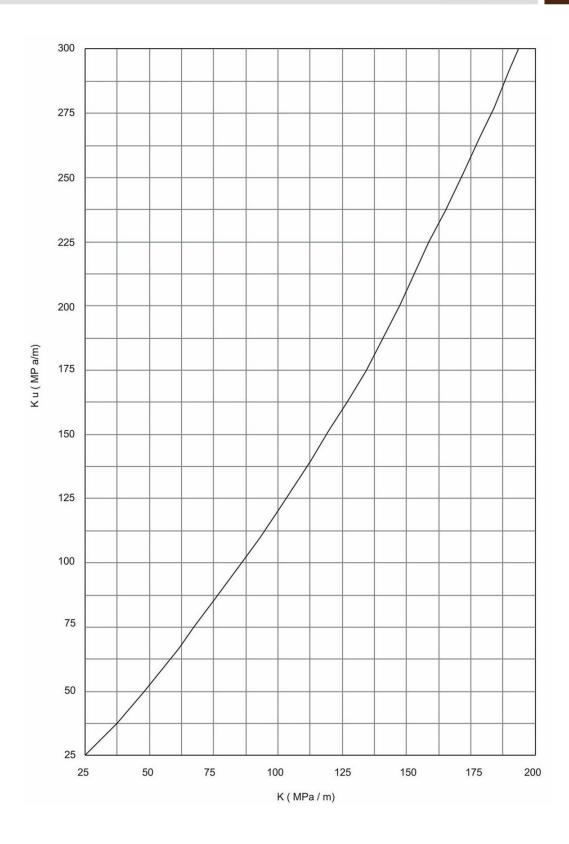


FIGURA S0504_2. CORRECCIÓN DE KU POR DEFORMACIÓN DE PLACA

Equipo de ensayo de placa de carga estática

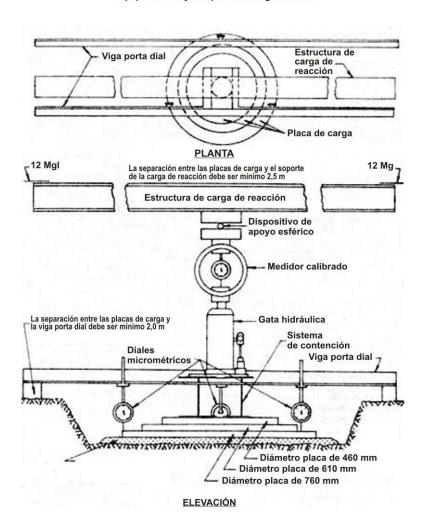


FIGURA S0504_3 EQUIPO DE ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA

CAPÍTULO S0505. ENSAYO DE PLACA DE CARGA REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (AASHTO T221)

OBJETO

En este método se trata el procedimiento de ensaye de placa de carga estática repetida sobre sub-rasantes, capas componentes de pavimento flexible y suelos, tanto en estado natural como compactados, con el objeto de proporcionar información para su uso en evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos.

DEFINICIONES

a) Deflexión

El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

b) Deflexión residual

La diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final a consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

c) Deflexión elástica

La recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

EQUIPOS Y MATERIALES

d) Elementos de reacción

Camión o remolque, una combinación de ambos, o un marco anclado a una estructura pesada con suficiente masa para producir la reacción deseada sobre la superficie bajo ensaye. Los puntos de apoyos (ruedas en caso de vehículos) deberán estar a lo menos a 2,5 m de la circunferencia de la placa de carga de mayor diámetro por emplear.

e) Conjunto hidráulico de carga

Sistema con dispositivos de apoyo esférico, capaz de aplicar y retirar la carga en incrementos. La gata deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la carga máxima requerida y estar equipada con un medidor calibrado con precisión suficiente para indicar la magnitud de la carga aplicada.

f) Placas de ensaye

Un juego de placas circulares de acero de no menos de 25 mm de espesor, confeccionadas de modo de poder disponerse en forma piramidal para asegurar su rigidez y de diámetros que

varíen entre 150 mm y 760 mm. Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberán exceder los 150 mm.

Nota 1:Se recomienda un mínimo de 4 placas de diferentes tamaños para ensayes con fines de evaluación y diseño de pavimentos. Para evaluar únicamente, se puede usar una placa simple que proporcione un área igual a la de contacto de los neumáticos, que corresponde a la combinación más crítica de carga por rueda y presión de inflado que pueda considerarse. Con objeto de obtener información referente a la variación del soporte (por ejemplo, la determinación del soporte relativo de un terreno a través de un período anual) puede emplearse una placa simple, cualquiera de las indicadas.

g) Diales micrométricos

Dos o más diales graduados en unidades de 0,025 mm (0,001") y capaces de registrar una deflexión acumulada máxima de 25 mm u otro aparato equivalente para medir deflexiones.

h) Viga Porta-Dial

Sobre la que se montan los diales micrométricos. La viga deberá estar formada por un tubo o cañería de 60 mm de diámetro o un ángulo de acero de 75 x 75 x 6 mm o equivalente. Esta deberá tener como mínimo 4,75 m de largo y apoyarse en soportes ubicados a más de 2,0 m de la circunferencia de la placa de ensaye o rueda más cercana o soporte. El sistema completo de medición de deflexión deberá protegerse adecuadamente de los rayos directos del sol.

i) Herramientas varias

Debe incluirse un nivel de burbuja, para preparar la superficie a ensayar y las herramientas necesarias para operar el equipo.

PROCEDIMIENTO

- **a)** Centre cuidadosamente la placa del diámetro seleccionado bajo el dispositivo de reacción.
 - Acomode las placas de diámetros menores restantes concéntricas con y sobre la placa principal. Ajuste la nivelación de la placa de ensaye con una delgada capa de arena y yeso o arena fina, usando la mínima cantidad de material necesario para lograr un apoyo uniforme. Para prevenir pérdidas de humedad del terreno durante la prueba de carga, cubra con plástico o papel impermeable el terreno expuesto, hasta 2 m de la circunferencia de la placa de ensaye.
- b) Cuando deba realizar un ensaye de carga no confinado a cierta profundidad de la superficie, remueva el material circundante hasta una vez y media el diámetro de la placa, medido desde el borde de la placa, para eliminar sobrecargas y efectos de confinamiento. Para ensayes confinados, el diámetro del área circular de

- excavación deberá ser el suficiente para permitir acomodar la placa de ensaye seleccionada.
- c) Fije un número suficiente de diales micrométricos, ubicados en posiciones que indiquen el movimiento vertical promedio de la placa de ensaye. Cuando use diales, ajústelos cerca de cada extremo de un diámetro de la placa de carga, a 25 mm del borde. Cuando utilice 3 diales, dispóngalos a 120° uno del otro y equidistantes desde la circunferencia de la placa de ensaye. Cada conjunto de lecturas individuales debe promediarse y registrar su valor como lectura de asentamiento promedio.
- d) Una vez adecuadamente instalado el equipo, con toda la carga muerta (gata, placas, etc.) actuando, asiente la placa de ensaye y el conjunto con una rápida aplicación y descargue la carga necesaria para producir una deflexión no inferior a 0,25 mm y no mayor que 0,50 mm, indicada por los diales. Cuando las agujas de los diales se estabilicen luego de la descarga, reasiente las placas con la aplicación de la mitad de la carga registrada que produjo la deflexión entre 0,25 mm y 0,50 mm; nuevamente, cuando los diales se hayan estabilizado, ajuste cuidadosamente cada dial a su marca "cero".

Nota 2: El uso de diales micrométricos adicionales ubicados sobre la superficie del material por ensayar a media, una, una y media veces el diámetro de la placa de ensaye, desde el borde de ésta, es opcional.

- e) Aplique una carga que produzca una deflexión aproximada a 1 mm. Haga funcionar el cronómetro, y mantenga la carga constante hasta que la razón de deflexión sea 0,025 mm por minuto o menos, durante 3 minutos consecutivos. Entonces, retire completamente la carga y observe la recuperación hasta que la razón de recuperación sea 0,025 mm por minuto o menos, para 3 minutos consecutivos. Aplique y retire la misma carga de esta manera seis veces. Registre las lecturas de los diales apoyados sobre la placa a cada minuto, registre la lectura de los diales ubicados más allá del perímetro de la placa de ensaye, inmediatamente antes de la aplicación e inmediatamente antes de retirar la carga, para cada aplicación. Para asegurar un buen contacto entre el dial y la placa de ensaye u otra superficie sobre el cual ellos se apoyan, dé un breve zumbido al timbre eléctrico instalado en la viga porta dial, 10 seg. antes de efectuar la lectura.
- **f)** Aumente la carga para alcanzar una deflexión de aproximadamente 5 mm y proceda como se indicó anteriormente.
- **g)** Aumente la carga para alcanzar una deflexión de aproximadamente 10 mm y proceda como se indicó anteriormente.
- h) En todos los casos la lectura final deberá cumplir la razón de 0,025 mm por minuto, o menos, durante 3 minutos consecutivos.
- i) Lea y registre la temperatura del aire desde un termómetro suspendido cerca de la placa de ensaye, en intervalos de media hora.

CÁLCULO Y TRAZADO DE LA CURVA CARGA – DEFLEXIÓN

- a) Para cada repetición de carga, determine la deflexión para la que se cumple que la razón de deflexión sea exactamente 0,025 mm por minuto. Este punto de deflexión final puede ser determinado con suficiente precisión a partir de una inspección visual de los datos de deflexión registrados para cada repetición de carga.
- b) Corrija la carga, registrada como lectura del manómetro de la gata hidráulica, utilizando las respectivas curvas de calibración de la gata y manómetro empleados.
- c) Determine gráficamente el punto cero para corrección de la carga aplicada y deflexión. Esto requiere considerar la cantidad de masa de la gata, de los discos de ensaye empleados, etc., y de la carga corregida de la gata, cuyos diales fueron ajustados en cero al comienzo del ensaye.
- d) Dibuje la deflexión corregida, para la cual la razón de deformación es exactamente 0,025 mm por minuto vs. el número de repeticiones de cada carga corregida. Gráficos similares pueden prepararse con la deflexión residual corregida y deflexión elástica y dibujados en función del número de repeticiones de carga corregida.

INFORME

Además del registro de carga, deflexión y los datos de temperatura, prescritos en el Procedimiento, el informe deberá contener todas las condiciones asociadas y observaciones pertinentes al ensayo, incluyendo las siguientes:

- a) Fecha.
- b) Hora de inicio y desarrollo del ensayo.
- c) Lista del personal.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Cualquier irregularidad en el procedimiento acostumbrado.
- f) Cualquier condición irregular observada en el sitio de ensayo.
- g) Cualquier observación sobre irregularidad durante el ensayo.

CAPÍTULO S0506. PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO. MÉTODO DEL BALÓN DE CAUCHO (ASTM D2167 AASHTO T205)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación del peso unitario en el terreno, de un suelo compactado o firmemente unido, mediante un aparato con una membrana de caucho. Sin embargo, el aparato descrito en el apartado de Equipos y materiales, no es aconsejable para un suelo muy blando, que se deforme bajo una presión leve, ó en el cual no pueda mantenerse conun valor constante el volumen del hueco.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Aparato del balón de caucho

Es un aparato con un cilindro calibrado diseñado para contener un líquido dentro de una membrana relativamente delgada, flexible y elástica (balón de caucho), para medir el volumen del hueco del ensayo bajo las condiciones de este método (Véase Figura S0506_1).

El aparato deberá estar equipado de manera que pueda aplicarse exteriormente una presión o un vacío parcial al líquido contenido, y deberá ser de un peso y de un tamaño tal que no cause distorsión del hueco excavado ni del área adyacente durante la ejecución del ensayo. Deberá disponerse lo adecuado para colocar pesas (sobrecarga) sobre el aparato y de un indicador de volumen para determinar con precisión de 0,006 litros (0.00025 pies³) cualquier cambio en el hueco de ensayo.

La membrana flexible deberá ser de tamaño y forma tales, que llene completamente el hueco sin pliegues ni dobleces cuando se infla dentro de él, y tener suficiente resistencia para aguantar la presión que sea necesaria para asegurar el completo llenado del agujero de ensayo.

Se considera satisfactorio cualquier aparato que emplee una membrana flexible (caucho) y un líquido, y que pueda utilizarse para medir el volumen del agujero bajo las condiciones de este ensayo con precisión del 1,0 %.

2. Balanzas

Una de 10 Kg. y con precisión de 1,0 g y otra de 2,0 Kg. y precisión de 0,1 g.

3. Estufa

También se puede usar un horno u otro aparato adecuado y satisfactorio para secar suelos y muestras para humedad.

4. Equipo Misceláneo

Picas pequeñas, cinceles y cuchara para extracción, bolsas de plástico, cubos con tapas, u otros recipientes metálicos adecuados que puedan cerrarse para contener el suelo extraído de los huecos; termómetro y brocha pequeña.

COMPROBACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DEL INDICADOR DEL VOLUMEN

- 5. Compruébese el procedimiento que va a emplearse y la precisión del indicador de volumen utilizando el aparato para medir moldes de un volumen que pueda determinarse y que dimensionalmente simulen los huecos de ensayo que van a emplearse en el terreno. El aparato y el procedimiento deberán ser tales que estos volúmenes se midan dentro de 1.0 %. Deberán usarse moldes de volúmenes diferentes, de tal manera que la calibración del indicador de volumen cubra la amplitud de los tamaños anticipados para los huecos de ensayo.
 - a) Pueden emplearse los moldes de 4" y 6" descritos en los ensayos de Proctor normal yModificado S0402 y S0403 u otros moldes prefabricados para simular tamaños reales de huecos.

Cuando vayan a emplearse varios juegos de aparatos para el ensayo, es deseable disponer los que corresponden a los tamaños de huecos reales. Estos juegos deberán representar la amplitud de irregularidades y tamaños que se encontrarán en las paredes de los huecos. Pueden emplearse agujeros preelaborados como patrones para verificar la calibración del indicador de volumen. Esto puede lograrse rellenando con yeso los agujeros, retirando el bloque de yeso seco y embebiendo este bloque en concreto, para que cuando se seque el concreto, se retire el yeso y quede un molde que duplica el agujero preelaborado. Después de removido el yeso de los moldes, la superficie interior de los agujeros duplicados deberá sellarse a prueba de agua y se determinará su volumen.

b) Volumen de los moldes

Determínese el peso requerido de agua para llenar uno de los moldes, en gramos. Deslícese cuidadosamente una placa de vidrio sobre la parte superior de la superficie del molde para asegurarse que el recipiente esté completamente lleno de agua. Determínese la temperatura del agua dentro del depósito. Una capa delgada de grasa sobre la superficie del molde formará una junta impermeable entre la placa de vidrio y la parte superior de aquel.

Calcúlese el volumen de éste, en pies³, multiplicándose el peso del agua (en gramos) empleado para llenar el recipiente por el volumen unitario del agua (en mililitros por gramo) a la temperatura observada, tomada de la *Tabla S0506_1* y dividiendo el resultado por 28.317 ml/pie³. Repítase este procedimiento hasta que se tengan tres valores para el volumen del recipiente con una amplitud máxima de variación de 0,00283 dm³ (0.0001 pies³). Repítase el procedimiento para cada uno de los moldes que van a emplearse en la calibración de comprobación.

TABLA S0506_1. VOLUMEN DEL AGUA POR GRAMO CON BASE EN LA TEMPERATURA.

Temperatura		Volumen de agua,	
°C	°F	ml x gr.	
12	53.6	1,00048	
14	57.2	1,00073	
16	60.8	1,00103	
18	64.4	1,00138	
20	68.0	1,00177	
22	71.6	1,00221	
24	75.2	1,00268	
26	78.8	1,00320	
28	82.4	1,00375	
30	86.0	1,00435	
32	89.6	1,00497	

c) Ensayos para verificar la calibración

Colóquese el aparato con el balón sobre una superficie horizontal relativamente lisa y hágase una lectura inicial en el indicador de volumen. Transfiérase el aparato a uno de los moldes y hágase la lectura sobre el indicador de volumen cuando la membrana de caucho llene completamente el molde.

Aplíquese presión al líquido en el aparato hasta que no haya cambio alguno en el indicador de volumen. Anótese la presión.

Según el tipo de aparato, esta presión puede llegar a ser tan alta como de 49 kPa (5 lb/pulg²). Generalmente será necesario colocarle una sobrecarga al aparato para evitar que se levante. Anótese el peso total agregado.

La diferencia entre la lectura inicial y final del indicador de volumen será el volumen del molde. Podrá quitarse del molde la membrana aplicando un vacío parcial al líquido en el aparato. Repítase el procedimiento para otros recipientes.

Nota 1: Si el molde o el recipiente de calibración son herméticos, puede ser necesario proporcionarle un escape al aire para evitar resultados erróneos, ya que la membrana de caucho puede atrapar aire dentro del recipiente y causar errores en la medida del volumen.

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

Después de hallado el volumen del molde con agua, y antes de insertar la membrana de caucho, deberán proveerse pequeños agujeros para el escape del aire colocando cuerdas de diámetro pequeño sobre el borde del recipiente y hacia la parte inferior de la cara interior, ligeramente más allá del centro del molde. Esto permitirá que el aire atrapado escape durante el llenado del depósito con la membrana. Si dicho procedimiento es requerido en el laboratorio, puede ser necesario usar un procedimiento similar en suelos densos.

Nota 2: En ensayos en el campo los pesos adicionales (sobrecargas) aumentarán el esfuerzo en el suelo no soportado y circundante al hueco y tenderán a causar deformaciones. El esfuerzo puede reducirse empleando una placa para la base.

Nota 3: Antes de ejecutar cualquier medida puede ser necesario distensionar la membrana y remover las burbujas de aire que se adhieren al interior de ésta.

PROCEDIMIENTO

6. Prepárese la superficie del orificio para el ensayo, de manera que quede razonablemente plana.

Instálese el aparato en el sitio de ensayo y hágase una lectura inicial del indicador de volumen del vaso calibrado, empleando la misma presión sobre el líquido en el depósito y el mismo peso de sobrecarga usado en la calibración de comprobación.

Luego de efectuada esta lectura inicial sobre el indicador de volumen, márquese el contorno del aparato sobre el sitio del orificio de ensayo. Anótese la presión empleada, la magnitud de la sobrecarga, y la lectura inicial del volumen. Si el aparato fue calibrado con una placa de base, ésta deberá mantenerse en el sitio durante el ensayo.

7. Remuévase el aparato del sitio y excávese un orificio centrado dentro de la marca delineada para el aparato. Téngase cuidado al excavar el hueco, de manera que el suelo alrededor del borde superior del mismo no se altere. Colóquese todo el suelo removido del agujero en un recipiente hermético para las determinaciones de peso y de humedad. El hueco del ensayo deberá tener el volumen mínimo indicado en la *Tabla S0506_2*.

Huecos de tamaños mayores proporcionarán mayor precisión y deberán usarse cuando sea posible. Las dimensiones del hueco de ensayo están relacionadas con el diseño del aparato y con la presión empleada; en general, estas dimensiones deberán aproximarse a las empleadas en el procedimiento de comprobación de la calibración .

TABLA S0506_2. VOLUMEN MÍNIMO DEL ORIFICIO DE ENSAYO Y TAMAÑO MÍNIMO DE MUESTRA PARA HUMERDAD EN BASE EN EL TAMAÑO MÁXIMO DE LA PÁRTICULA

Tamaño máximo		Volumen mínimo		Tamaño mínimo de la
de partículas		del orificio de ensayo		muestra para humedad
mm	(Alterno)	cm3	(pies3)	g
4,75	(No.4)	700	(0.025)	100
12,5	(½")	1400	(0.050)	250
25,0	(1")	2100	(0.075)	500
50	(2")	2800	(0.100)	1000
63	(2½")	3800	(0.135)	1500

- 8. Después de excavar el orificio, colóquese sobre éste el aparato, en la misma posición empleada para la lectura inicial, e ínflese la membrana flexible dentro del hueco. Aplíquese la sobrecarga y la presión del líquido en el depósito que se usaron durante el procedimiento de verificación de la calibración. Anótese la lectura del indicador de volumen. La diferencia entre esta lectura y la inicial obtenida en el numeral 6, es el volumen del hueco de ensayo.
- **9.** Determínese el peso del suelo húmedo extraído del orificio con precisión de 5 g, (0.01 lb). Mézclese completamente el suelo, elíjase una muestra para contenido de humedad, de acuerdo con la *Tabla S0506_2*, y determínese su peso con precisión de 0.1 g. Séquese la muestra para humedad hasta peso constante a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) y determínese su peso seco con precisión de 0,1 g.

CÁLCULOS

10. Calcúlese la humedad del suelo, w con aproximación al 1 % en la siguiente forma:

$$W = \frac{Peso \, de \, agua}{Peso \, de \, sueldo \, \sec o} \, x \, 100$$

11. Calcúlese el peso unitario húmedo, o W1 del suelo extraído del hueco del ensayo, en g/ml ó en lb/pie³, en la siguiente forma:

$$W_1 = \frac{Peso \ del \ suelo \ humedo \ en \ g(lb)}{volumen \ del \ hueco \ en \ ml(pies^3)}$$

- Para pasar de g/ml a lb/pie³ o viceversa, puede usarse el factor de conversión 62.4.

12. Calcúlese el peso unitario seco, d, del suelo extraído del hueco de ensayo en g/ml (lb/pie³).

$$\int d = \frac{W_1}{w + 100} x 100$$

- **13.** Conviértase el peso unitario de g/ml a kg/m³.
- **14.** Puede ser deseable expresar el peso unitario suelto en el sitio como porcentaje con respecto a otro peso unitario; por ejemplo, el peso unitario máximo obtenido mediante el Proctor Normal o el Modificado.

INFORME

El informe deberá incluir:

- a) Sitio del ensayo.
- b) Cota del sitio.
- c) Volumen del orificio, m³.
- d) Peso unitario húmedo en el sitio, Kg/m³ (lb/pie³).
- e) Peso unitario seco, en el sitio Kg/m³ (lb/pie³).

Nota 4: En suelos blandos o débiles y cuando la presión aplicada al líquido en el depósito pueda deformar el hueco de ensayo hasta el punto de dar un volumen errado, deberá modificarse el dispositivo y emplear menor sobrecarga y menor presión sobre el líquido en el depósito, o puede ser necesario recurrir a otro método para determinar el peso unitario, como el del Cono de Arena, *Método S0501*.

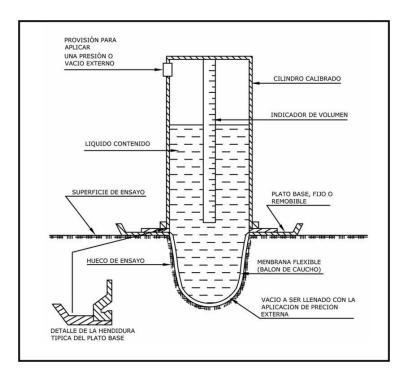


FIGURA S0506_1 ESQUEMA DEL APARATO DE BALÓN DE CAUCHO

CAPÍTULO S0507. PESO UNITARIO DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO MEDIANTE MÉTODOS NUCLEARES (ASTM 2922 AASHTO T238)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación en el terreno del peso unitario húmedo total de un suelo o de un suelo suelo-agregado con fines de investigación, control o diseño, colocando una fuente emisora y un detector de rayos gamma, sobre o dentro del material, o adyacente al mismo. Los métodos nucleares pueden aplicarse hasta profundidades entre 50 y 300 mm (2" y 12").

Empleando algunos modelos recientes de equipos nucleares pueden obtenerse simultáneamente el peso unitario seco, y el grado de compactación con respecto a un peso unitario de referencia.

La intensidad de la radiación detectada depende en parte del peso unitario del material bajo ensayo, y la lectura de la misma se transforma en peso unitario húmedo mediante una curva de calibración. Los resultados pueden afectarse por la composición química, la heterogeneidad de la muestra o por su textura superficial y también por distorsión espacial, por cuanto el aparato puede estar más sensible a ciertas zonas del muestreo.

Para la calibración y operación del equipo, así como para el procedimiento de ensayo, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo.

- 1. La ventaja principal de este ensayo, con respecto a procedimientos tradicionales (cono de arena, balón, etc.), radica en que no es destructivo y en la relativa facilidad para hacerlo, por lo cual pueden efectuarse muchos más ensayos y detectarse mediciones aparentemente erróneas. Sin embargo, se le objeta que con él no se puede examinar el suelo a profundidades mayores de las indicadas anteriormente.
- 2. El equipo empleado en este método es del tipo superficial, en oposición al de huecos profundos, y básicamente consta de tres elementos: (1) fuente nuclear emisora de rayos gama; (2) un detector sensible a estos rayos que son modificados al pasar a través del material que se está ensayando; (3) medidor para el cronometraje automático y preciso, que es necesario para determinar la tasa a la cual los rayos gama modificados llegan al detector.
- 3. Puede emplearse cualquier fuente de rayos gama que tenga emisión abundante y energía apropiada. La estabilidad de las fuentes con el tiempo, en términos de vida media, es una consideración importante de diseño y las más empleadas son Cesio-137 y Radio-Berilio. Los dos detectores más comúnmente empleados, son los tubos llenos de gas del tipo Geiger-

Muller y los cristales centelleantes, generalmente de yoduro de sodio. Los detectores del último tipo ofrecen la posibilidad de variar electrónicamente, el nivel de energía de los rayos gama que se cuentan. Con detectores de tipo Geiger - Muller este nivel esta fijado en el diseño.

- **4.** La tasa a la cual los rayos gamma llegan al detector se denomina en este método, con el nombre de cuantía.
- 5. El volumen del suelo o del suelo-agregado representado en las mediciones es indeterminado y variará con la geometría del sistema fuente-detector del equipo empleado y con sus características físicas. En general, manteniendo constantes las condiciones restantes, cuanto más denso sea el material, menor será el volumen involucrado en la medida. El peso unitario determinado entonces, no es necesariamente promedio dentro del volumen incluido en la medida hecha bajo condiciones usuales; la cuantía está determinada en gran parte, por los 75 a100 mm (3" a 4") superiores del material. Cuando los materiales son de peso unitario uniforme, esta característica no tiene efecto.
- **6.** El número de rayos gama emitidos por una fuente durante un período dado, es estadísticamente aleatorio y sigue una distribución Gaussiana. Por esto, el número real de rayos modificados detectados y contados al medir un peso unitario, deberá ser suficientemente grande para disminuir la probabilidad de que la cuantía observada muestre variaciones inaceptables, que se reflejan en la desviación estándar de la cuenta total.

La precisión del sistema completo para determinar pesos unitarios, es también de naturaleza estadística y puede variar con el equipo, con las condiciones de ensayo en el laboratorio frente a las del terreno, así como con los materiales y con los operadores, por lo cual no es posible dar números precisos para su exactitud.

7. Una de las fuentes más comúnmente empleadas, el Cesio 137, es producida por el hombre y su empleo está regulado por la Comisión de Energía Atómica en EE.UU., así como por algunos otros gobiernos. Como el radio es un elemento natural, su empleo está regulado igualmente por los respectivos gobiernos en la mayoría de los países. Además de los objetivos de establecer regulaciones e instrucciones precisas, están los de emplear el material radioactivo de manera segura para el operador y las demás personas.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **8.** La fuente emisora gamma, deberá ser una fuente de radioisótopos, encapsulada y sellada.
- **9.** Detector de rayos gamma, de cualquier tipo adecuado.

- **10.** Dispositivo de lectura, o contador automático, de escala apropiada, que registre la cuantía de los rayos que llegan al detector. Generalmente, el dispositivo de lectura deberá contener fuentes de alto y bajo voltaje, para operar el detector y los dispositivos accesorios de lectura.
- **11.** Cajas. La fuente, el detector, el dispositivo de lectura, y el suministro de corriente deberán hallarse en cajas de construcción fuerte, a prueba de humedad y polvo.
- **12.** Patrón de Referencia, de peso unitario uniforme e invariable. Deberá proporcionarse para cada medidor, con el objeto de comprobar la operación del equipo y la calibración y para establecer condiciones de que la cuantía sea reproducible.
- Dispositivos para la preparación del sitio
 Una placa de acero, una regla, así como otras herramientas de nivelación, adecuadas para aplanar el sitio de ensayo, hasta darle la tersura requerida.
- **14.** Sonda
 - (Aplicable al método de transmisión directa). Cualquier fuente gamma o el detector deberán alojar una sonda para ser insertada en un hueco preelaborado en el material que va a ser ensayado. La sonda deberá tener marcas con incrementos de 50 mm (2") para ensayos con profundidades de la sonda de 50 a300 mm (2 a 12"). La sonda deberá ser operada mecánicamente, de manera que, cuando se mueva manualmente hasta la profundidad marcada deseada, se mantenga en su posición, a dicha profundidad.
- **15.** Guía. (Aplicable al método de transmisión directa). Para formar un agujero perpendicular a la superficie preparada.
- 16. Herramientas para hacer el hueco, en el material que se va a ensayar, como un barreno o una punta con un diámetro nominal, igual o ligeramente mayor que el de la sonda, pero que no exceda el de ésta, en más de 3 mm (1/8"). (Aplicable al método de transmisión directa).
- 17. Soportes espaciadores. (Aplicables al método del colchón de aire). Sirven para sostener el medidor con vacío óptimo de aire por encima del material que se está ensayando. Los soportes espaciadores deberán diseñarse para que soporten el medidor a una altura óptima sin interferir la base del mismo.

MÉTODOS DE ENSAYO

- **18.** Existen tres métodos generales para la ejecución del ensayo:
 - Método A Retrodispersión.
 - Método B Transmisión Directa.
 - Método C Colchón de aire.

- **19.** Las medidas se efectúan empleando rayos gamma, que en gran parte se reflejan con energía reducida, por dispersión o por transmisión directa, a través del material bajo ensayo.
- **20.** Las hipótesis fundamentales inherentes a los métodos anteriores son:
 - a) La dispersión Compton constituye la interacción predominante.
 - b) El material bajo ensayo es homogéneo.
- 21. La determinación del peso unitario mediante métodos nucleares es indirecta, y no se ha desarrollado un procedimiento teórico que prediga la cuantía para un equipo, una disposición geométrica, un material y un peso unitario dados.

Como consecuencia, la relación entre el peso unitario y la cuantía, es determinada mediante ensayos de correlación con materiales de pesos unitarios promedios conocidos. Los fabricantes de equipos individuales suministran una curva con cada equipo, pero estas curvas no se mantienen necesariamente para todos los suelos y suelos-áridos debido a diferencias en la composición química de los mismos. Las variaciones aparentes en las curvas de calibración también pueden ser inducidas por diferencias en el asentamiento, en la cuantía de referencia y en otras variaciones del ensayo.

Pueden emplearse diferentes procedimientos para comprobar las curvas de calibración. Se dan en este método los más utilizados, debiendo aplicarse estos procedimientos con equipos nuevos o a los equipos en servicio, cuando se substituyan sus partes principales.

CONDICIONES GENERALES

Medidas de seguridad

Procedimientos detallados de seguridad se hallan por fuera del objeto de este método, pero es necesario que quienes empleen estos equipos se familiaricen con los riesgos de los mismos, que se establezcan ensayos rutinarios de escape o fugas de radioactividad, que se empleen registros y escarapelas para su medida, y que aquellos se evalúen debidamente.

Calibración

- **22.** Además de lo especificado en este método, se deberán atender las recomendaciones del fabricante acerca de la calibración del equipo empleado.
- 23. Se han establecido curvas de calibración determinando la cuantía para diferentes materiales de pesos unitarios diferentes y conocidos, dibujando la cuantía contra cada peso unitario conocido, y haciendo pasar una curva a través de los puntos resultantes. La cuantía podrá

determinarse, promediando un mínimo de cuarto mediciones, de por lo menos un minuto de duración cada una, para cada material.

El método empleado para establecer la curva debe ser el mismo que se usaría para determinar el peso unitario en un ensayo, pero los materiales empleados para establecerla deben variar dentro de un intervalo que incluya el peso unitario de los materiales que se van a ensayar, y deberán tener un peso unitario uniforme.

Pueden establecerse curvas de calibración en las siguientes formas:

- a) Empleando bloques con peso unitario conocido, de materiales que se consideran satisfactorios para este fin como el granito, el aluminio, el magnesio-aluminio laminado, la caliza y el magnesio.
- b) Empleando muestras preparadas de suelo-agregado en recipientes compactados a pesos unitarios conocidos.

Nota 1: Las curvas de calibración no son aplicables a materiales no representados al establecerlas. Los bloques metálicos son satisfactorios únicamente para determinar la forma adecuada y la inclinación de la curva, pero la localización correcta de ésta, debe determinarse mediante ensayos sobre bloques de materiales de composición similar a los que se hallarán en el terreno. El empleo de bloques es ventajoso porque son durables y proporcionan referencias estables para el peso unitario. Los bloques y muestras preparadas en recipientes deben ser suficientemente grandes para que no cambie la cuantía observada, si se hacen mayores en cualquier dimensión. Las muestras preparadas en recipientes deben ser suficientemente grandes para permitir la rotación del medidor en 90°. Para la calibración de retrodispersores, es necesaria una profundidad mayor de 150 mm (6").

Verificación de las curvas de calibración de aparatos nuevos. Deberán verificarse al ser adquiridos los aparatos y también cuando por cualquier razón se considere que los resultados de ensayos rutinarios son imprecisos. Para el método de retrodispersión, las curvas de calibración deberán verificarse en caso de ensayos de materiales que sean claramente diferentes de los tipos de materiales ensayados previamente, y que puedan tener composiciones químicas diferentes.

Las curvas de calibración pueden verificarse ya sea sobre bloques o sobre muestras preparadas en recipientes.

25. Ajuste de la curva de calibración. Cuando los bloques o recipientes preparados con materiales de peso unitario conocido están siendo empleados para ajustar la calibración, dibújese la cuantía contra cada peso unitario conocido, utilizado en 22. Si los puntos no se ajustan a la curva de calibración previamente establecida, reemplácese dicha curva por otra dibujada paralelamente a la anterior y a través de los puntos de cuantía.

Cuando se está empleando el método del cono, del balón de caucho o del peso específico paraajustar la calibración, compárese el promedio de 10 sitios por lo menos, efectuando en cada sitio un ensayo nuclear y uno de arena, balón de caucho o peso específico, y procédase como se indica enseguida, para ajustar las curvas de calibración.

- c) Si el peso unitario de cada uno de los ensayos de comparación, varía en menos de 80 g/m³ (5lb/pie³) del peso unitario determinado mediante el método nuclear, y si el promedio de los ensayos de peso unitario con sistemas convencionales está cerca de 32 kg/m³ (2 lb/pie³), el promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, no es necesario ningún ajuste de la curva de calibración.
- d) Si el promedio de esas determinaciones, está en más de 32 kg/m³ (2 lb/pie³) por encima o por debajo del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, los ensayos subsiguientes deberán ajustarse mediante la diferencia en los promedios, la cual deberá agregarse si el promedio de los ensayos nucleares es menor, y sustraerse si es mayor.
- e) La diferencia promedia obtenida según el literal b) puede emplearse para dibujar una curva de calibración corregida, la cual será paralela a la de calibración original y deberá compararse en magnitud y dirección como se determina en el literal b) antes citado.

Nota 2: El ajuste de calibración es una tarea compleja y deberá efectuarse únicamente por quienes sean aptos por su conocimiento en este campo.

Nota 3: Las curvas de calibración y colchón de aire óptimo pueden adquirirse del fabricante para cada medidor y deben ser fácilmente comprobadas.

PRECISIÓN

- **26.** Cualquier equipo que sea utilizado en este método, deberá satisfacer los requerimientos aquí especificados.
- 27. La precisión del sistema se determina a partir de la pendiente de la curva de calibración y de la desviación estándar de las cuantías observadas en un mismo sitio, para el tiempo de medición recomendado, el cual deberá ser por lo menos de 1 minuto:

$$P = \sigma / s$$

P = Precisión.

σ = Desviación estándar, de las cuantías observadas en un mismo

sitio, para el tiempo de medición recomendado.

- s = Pendiente, variación de la cuantía al variar el peso unitario, en cuantía/(kg/m³)(cuantía/(lb/pie³)).
- 28. Determínese la pendiente a partir de la curva de calibración en el punto de peso unitario igual a 1,762 kg/m3 (110 lb/pie3). Determínese la desviación estándar a partir de diez (10) mediciones repetidas,(cada una con el tiempo de medición recomendado, y sin mover el aparato después de la primera medición), tomados sobre un material que tenga un peso unitario de 1,762 ± 80 kg/m3 (110 ± 5 lb/pie3). El valor de P puede ser menor de 20 kg/m3 (1.25 lb/pie3).
- 29. Error químico. El error debido a cambios en la composición química de materiales, que tengan coeficientes de atenuación gamma menores que los del granito, o mayores que los de la caliza, no deberá ser mayor de \pm 2,5%, en los métodos de retrodispersión, ni de \pm 1,2%, para los de transmisión directa con la fuente a una profundidad de 150 mm (6").

Para la determinación del error químico podrá utilizarse lo especificado en el ensayo **ASTM D2922**.

30. Error debido a la rugosidad de la superficie. El error ocasionado por el colchón de aire de 1.3 mm (0.05") entre la base del medidor y la superficie del material que se está midiendo, no deberá ser mayor del 4%, en el método de retrodispersión, ni mayor del 1%, en el de transmisión directa, en la fuente colocada a 150 mm (6") de profundidad. Pueden disminuirse los efectos de la rugosidad superficial mediante preparación cuidadosa del sitio.

El efecto de la rugosidad de la superficie puede medirse así: colóquese el aparato sobre una superficie plana pulida, después de limpiar la superficie y la base del detector, y mídase el peso unitario. Levántese luego el medidor, colocando espaciadores de 1,3 mm (0.05") entre la base del detector y la superficie del material, de manera que no interfiera con la zona de medida del detector. Vuélvase a medir el peso unitario aparente; la diferencia representa el error.

Normalización del Equipo

- **31.** Es necesaria la normalización del equipo sobre un patrón de referencia, al inicio de cada día de uso y deberá mantenerse un registro permanente de tales datos.
- **32.** Póngase a funcionar el equipo y déjese estabilizar de acuerdo con las recomendaciones delfabricante.

33. Si la comprobación de calibración muestra que no hay cambio significativo de la curva de calibración, deberá establecerse una nueva cuantía normal de referencia, No. Si las comprobaciones de calibración muestran, una diferencia significativa en la curva de calibración, es necesario reparar y recalibrar el aparato.

$$N_s = N_o \pm 2.0 \sqrt{N_o}$$

Donde

Ns = Cuantía medida al comprobar la operación del instrumento sobre el patrón de referencia.

No= Cuantía normal de referencia previamente establecida sobre el patrón referencia (promedio de 10 lecturas repetidas).

MÉTODO A - RETRODISPERSOR

Procedimiento

- **34.** Escójase un sitio para la prueba, donde el medidor en posición de ensayo se halle al menos a 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.
- **35.** Prepárese el sitio de ensayo de la manera siguiente:
 - a) Remuévase todo el material suelto y alterado y el material adicional, en cuanto sea necesario, para exponer la parte superior del material que va a ser ensayado.

Nota 4: Las dispersiones espaciales deberán considerarse para determinar la profundidad a la cual se va a colocar el medidor.

- b) Prepárese un área horizontal suficiente en tamaño para acomodar el medidor, aplanando el área hasta una condición lisa, de tal manera, que se obtenga el contacto máximo entre el medidor y el material que está siendo ensayado.
- c) El vacío máximo por debajo del medidor no deberá exceder de 3 mm (1/8"). Usense materiales del sitio o arena fina para llenar los vacíos y alísese la superficie, con una placa rígida o mediante otra herramienta adecuada.

Nota 5: La colocación del medidor sobre la superficie del material que va a ser ensayado, es crítica para la determinación correcta del peso unitario. La condición óptima, es la de contacto total entre la superficie del fondo

del medidor y la del material que se está ensayando. Pero como no es posible lograrlo, para corregir las irregularidades de la superficie se podrá emplear arena o material similar como llenante. La profundidad del relleno no deberá exceder de 3 mm (1/8") y el área total rellenada no deberá exceder del 10% del área del fondo del medidor.

Pueden requerirse varios asentamientos de prueba para lograr estas condiciones.

- **36.** Procédase para el ensayo de la manera siguiente:
 - a) Asiéntese el medidor firmemente.
 - b) Manténgase por fuera del alcance de éste, cualquier otra fuente radioactiva, para evitar que se afecten las medidas.
 - c) Caliéntese el equipo según la recomendación del fabricante.
 - d) Obténganse y regístrense una o más lecturas de un minuto.
 - e) Determínese el peso unitario húmedo en el sitio, mediante el empleo de la curva de calibración establecida previamente.

MÉTODO B – TRANSMISIÓN DIRECTA

Procedimiento

- **37.** Escójase un sitio donde el medidor quede en posición de ensayo al menos 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.
- 38. Prepárese el sitio de ensayo siguiendo los mismos pasos del Método A-Retrodispersor Adicionalmente, excávese un orificio de al menos 50 mm (2") de profundidad mayor que la profundidad a la cual se coloca la sonda y que sea perpendicular a la superficie preparada, empleando la guía y el dispositivo para formar el hueco con un alineamiento tal, que la inserción de la sonda, no haga inclinar el medidor con respecto al plano del área preparada.
- **39.** Procédase para el ensayo de la manera siguiente:
 - a) Colóquese el medidor sobre la superficie, alineada cuidadosamente con marcas y extiéndase la sonda en la posición requerida, para la profundidad deseada de ensayo.
 - b) Insértese la sonda en el orificio.
 - c) Asiéntese firmemente el medidor, rotándolo alrededor de la sonda, con un movimiento hacia atrás y hacia adelante.
 - d) Empújese suavemente el medidor en la dirección que colocaría el lado de la sonda, contra el lado del orificio más próximo a la localización del detector o la fuente en la caja del medidor.
 - e) Manténganse cualquier otra fuente radioactiva fuera del medidor, para evitar que afecte la medida.
 - f) Caliéntese el equipo según la recomendación del fabricante.
 - g) Obténganse y regístrense una o más lecturas de un minuto.

h) Determínese el peso unitario húmedo en el sitio, mediante el uso de la curva de calibración establecida previamente.

MÉTODO C - COLCHÓN DE AIRE

Determinación del colchón de aire óptimo

- **40.** Para determinar el óptimo colchón de aire a que se refiere este método se procede de la siguiente manera.
 - a) Escójanse tres o más áreas diferentes sobre las cuales se harán las determinaciones. Dichas áreas pueden ser bloques o recipientes preparados, empleados para calibración (22) o áreas en el terreno, del suelo o suelo-agregado compactado (24). El peso unitario de los materiales en las áreas escogidas deberá variar a través de un intervalo que incluya los pesos unitarios de los materiales que van a ser ensayados.
 - b) Colóquese el medidor de peso unitario sobre el área de ensayo, montándolo sobre el soporte colocado en los bordes extremos del mismo, de tal manera, que no obstruya el espacio entre el fondo del medidor y la superficie del área de ensayo.
 - c) Tómense y anótense dos lecturas de cuantía por minuto y determínese el promedio de las mismas.
 - d) Mediante bloques o espaciadores adicionales, auméntese el colchón de aire en incrementos de 6,4 mm (¼"). Tómense, regístrense y promédiense dos lecturas adicionales de 1 minuto cada una.
 - e) Continúese aumentando el colchón de aire mediante incrementos de 6,4 mm (¼"), asegurando lecturas promedias para cada colchón, hasta cuando haya una reducción en las lecturas de cuantía por minuto para un incremento en el colchón de aire.
 - f) Sobre un gráfico a escala, dibújense estas cuantías por minuto como ordenadas contra cada colchón de aire (en mm o pulgadas), y dibújese una curva suave a través de los puntos resultantes. Regístrese el colchón de aire máximo, determinado en el pico de la curva (colchón de aire pico).
 - g) Repítanse los procedimientos de éste numeral sobre dos o más áreas adicionales de materiales de peso unitario diferente y regístrese el colchón de aire pico, para cada una.
 - h) Hállese el promedio de los colchones de aire pico, de todas las áreas, el cual será el colchón de aire óptimo, y empléese éste para establecer la curva de calibración mediante este método y para todas las determinaciones de peso unitario de acuerdo con el mismo.

Procedimiento

41. Escójase un sitio donde el medidor en la posición de ensayo quede al menos a 150 mm (6") de cualquier proyección vertical del mismo. Nivélese una área suficiente para colocar la armazón y el medidor.

- **42.** Prepárese el sitio de ensayo siguiendo los mismos pasos del Método A-Retrodispersor.
- **43.** Procédase para el ensayo de la manera siguiente:
 - a) Colóquese firmemente el medidor.
 - b) Manténganse cualquier otra fuente radioactiva por fuera del medidor, para evitar que afecte la medida y las lecturas.
 - c) Caliéntese el equipo según las recomendaciones del fabricante.
 - d) Regístrense una o más lecturas de un minuto en la posición de retrodispersión.
 - e) Colóquese la armazón, establézcase un colchón de aire óptimo en el sitio del ensayo, y colóquese el medidor sobre la armazón de manera que ésto quede directamente sobre el mismo sitio empleado para las lecturas de retrodispersión. Cuando se use un medidor del tipo de transmisión directa, para esta lectura, colóquese la sonda en posición retraída, o en la del retrodispersor.
 - f) Tómese el mismo número de lecturas del tiempo normal de un minuto, tanto en la posición del colchón de aire, como en la del retrodispersor.
 - g) Determínese la relación del colchón de aire dividiendo las cuantías por minuto obtenidos en la posición del colchón de aire, por las obtenidas en la posición del retrodispersor.
 - h) Determínese el peso unitario en el sitio, mediante el uso de la curva de calibración aplicable, previamente establecida.

Nota 6: La relación del colchón de aire puede determinarse dividiendo las cuantías por minuto obtenidas en la posición de retrodispersión, por las cuantías por minuto obtenidas en la posición de colchón aire o viceversa. Para cualquier relación que se emplee, deberá utilizarse también la misma curva de calibración.

CÁLCULOS

Para obtener el peso unitario seco empléese uno de los métodos siguientes:

- 44. Si la humedad se determinó por métodos nucleares réstese el peso del agua en kg/m3 lb/pie3) del peso unitario total o húmedo y obténgase el peso unitario seco en kg/m3 (lb/pie3).
- **45.** Si la humedad se halló por métodos diferentes, (secamiento en el horno o carburo de calcio) y está dada como porcentaje, procédase así:

$$\int d = \left[\int hum/(w+100) \right] x 100$$

Donde:

f_d = Peso unitario seco, kg/m³ (lb/pie³). f_{hum} = Peso unitario húmedo, kg/m³ (lb/pie³). Porcentaje de humedad en la muestra.

INFORME

El informe deberá incluir:

- a) Sitio del ensayo.
- b) Descripción visual del material.
- c) Identificación del equipo de ensayo (marca, modelo, № de serie).
- d) Ns, cuantía medida al comprobar la operación del instrumento (32) sobre el patrón de referencia (11), método y fecha de la misma.
- e) No, cuantía normal de referencia previamente establecida (32), sobre el patrón de referencia (11) (promedio de 10 lecturas repetidas).
- f) Cuantía para cada lectura.
- g) Cuantía total
- h) Peso unitario húmedo.

CAPÍTULO S0508. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EQUIVALENTE DE SUELOS EN EL TERRENO (AASHTO T93)

OBJETO

Este método cubre el procedimiento para la determinación de humedades equivalentes de suelos

en el terreno.

DEFINICIONES

1. Humedad equivalente

La humedad equivalente de un suelo en el terreno, es el mínimo contenido de humedad al cual una gota de agua, colocada sobre una superficie alisada del suelo, no será completamente absorbida en 30 segundos por el mismo, si no que se esparcirá sobre la superficie dejando una película fina de humedad.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 2. Disco de evaporación de porcelana, o un disco similar para mezclar, de alrededor de 115 mm (4½") de diámetro.
- **3.** Espátula o navaja, que tenga una hoja de aproximadamente 76 mm (3") de longitud y 19 mm (3/4") de ancho.
- **4.** Pipeta, bureta ó dispositivo similar, para agregar agua en forma de gotas.
- **5.** Recipientes adecuados, tales como vidrios similares a los de reloj, que eviten la pérdida de humedad durante el pesaje.
- **6.** Balanza, de capacidad 1.200 g y precisión 0,01 g.
- 7. Horno, termostáticamente controlado, que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}$ C ($230 \pm 9^{\circ}$ F).



Equipos Requeridos

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

8. Deberá tomarse una muestra que pese alrededor de 50 g, de la porción completamente mezclada del material que pase por el tamiz de 425 μm (No.40) y que haya sido obtenida de acuerdo con el Método Normal de preparación en seco de muestras alteradas de suelo para ensayos (*Método S0204*), o con el Método Normal de preparación de muestras húmedas, alteradas, de suelos para ensayos (*Método S0205*).

PROCEDIMIENTO

- 9. La muestra secada al aire deberá colocarse en el disco para mezclarla agitándola; se tajará con la espátula, agregando unas pocas gotas de agua al mismo tiempo con la pipeta o un dispositivo similar. Deberá continuarse este proceso hasta que el suelo humedecido se pueda conformar en pequeñas bolas, al manipularlo. Las bolas de suelo deberán amontonarse cerca del borde inclinado del disco para mezclado.
- 10. Deberá formarse entonces una superficie lisa sobre la muestra del suelo mediante cinco (5) golpes ligeros de la espátula, debiendo cumplirse esta acción en forma tal, que deje una depresión ligera en la superficie lisa. Se coloca una gota agua en dicha depresión, y si ésta desaparece completamente en 30 segundos o menos, deberán agregarse al suelo dos o tres gotas de agua y los procesos de mezclado, alisamiento y ensayo, deberán repetirse hasta que la gota de agua no desaparezca sino que se extienda sobre la superficie alisada dejando una mancha brillante sin presencia de agua libre.
 - El agua libre deberá detectarse mediante la inclinación brusca del disco y observando si la mancha brillante se extiende rápidamente.
- 11. Si se excede el punto final, deberá tomarse una nueva muestra y repetirse el procedimiento de ensayo agregando pequeños incrementos de agua.
- 12. Una porción del suelo incluyendo toda el área alisada, deberá colocarse en un recipiente adecuado, pesarse con precisión de 0.01 g y registrar dicho peso. Se coloca luego la muestra junto con el recipiente de un horno a 110 ± 5°C (230 ± 9°F) hasta obtener peso constante y se pesa con aproximación a 0,01 g. Deberá anotarse este peso, así como la pérdida en peso debida al secamiento, la cual se anotará como peso del agua.



Pesada de la Muestra



Secado de la Muestra Húmeda

CÁLCULOS

13. La humedad equivalente en el terreno se calculará así:

$$Humedad\ equivalente\ en\ el\ terreno = \frac{Peso\ del\ agua}{Peso\ del\ suelo\ sec\ ado\ al\ horno} \times 100$$

Exprésese la humedad al horno equivalente en el terreno con aproximación al 0,1%.

CAPÍTULO S0509. TASA DE INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL TERRENO EMPLEANDO INFILTRÓMETROS DE ANILLO DOBLE (ASTM D3385)

OBJETO

Este método describe un procedimiento para la determinación en el terreno de la tasa de infiltración del agua dentro de los suelos, empleando infiltrómetros de anillo doble.

La tasa de infiltración es una característica del suelo que determina la tasa máxima a la cual puede penetrar el agua dentro del suelo bajo condiciones especificadas, incluyendo la presencia de un exceso de agua.

Las tasas de infiltración tienen aplicación en problemas relacionados con tasas de erosión, lixiviación (disolución en agua de una substancia alcalina) y eficiencias de drenaje, irrigación, esparcimiento de agua, desagüe, lluvias y evaluación de campos de disposición de posibles tanques sépticos.

Evidentemente las tasas de infiltración obtenidas inundando áreas grandes, ofrecen resultados más confiables, pero debido a su alto costo, se prefiere usar el método de las infiltraciones, por ser mucho más económico.

Los ensayos efectuados en un mismo sitio pueden no dar resultados idénticos; la tasa medida por el procedimiento descrito en este ensayo es primordialmente para uso comparativo.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Anillos del Infiltrómetro

Cilindros de aproximadamente 500 mm (20") de altura y con diámetros diferentes de aproximadamente 300 y 600 mm (12" y 24"). Los cilindros pueden ser elaborados de lámina de aluminio de 3 mm (1/8"), de aleación dura, o de otro material suficientemente resistente para que soporte la hinca fuerte, con el borde del fondo biselado, desde el borde exterior hasta el interior (*Figura S0509_1*). Los bordes biselados deben mantenerse afilados. Anillos más grandes pueden calibrarse de acuerdo con la *Tabla S0509_1* y emplearse si fueren viables económicamente.

2. Tapas para la penetración

Discos, de 13 mm (½") de aleación de aluminio con pasadores (pines) alrededor del borde. Los diámetros de los discos deberán ser ligeramente mayores que los de los anillos del infiltrómetro.

3. Equipo de penetración.

Una maceta de 5.5 Kg. (12 lb) y un bloque de madera de 600 a900 mm (2' o 3') de longitud y aproximadamente 50×100 mm (2" $\times 4$ ") o de 100×100 mm (4" $\times 4$ ") de sección.

4. Medidor de profundidad

Un medidor de gancho, una cinta metálica o regla, o un pedazo de alambre resistente y puntiagudo en un extremo para emplearlo en la medida y control de la profundidad del agua (cabeza) en el anillo del infiltrómetro.

5. Guardas de salpicaduras

Algunas hojas cuadradas de caucho de 150 mm (6") de lado.

6. Regla, o cinta

Una cinta metálica de 2 m (6') o una regla de acero de 300 mm (1').

7. Pisón metálico

Tubo de 350 mm (14") de largo con agarradera de acero de 6 mm (%") de espesor, de 150 mm (6") de largo y de 250 mm (1") de ancho, soldada en el extremo.

8. Palas

Una pala de mango largo y una pica para excavar zanjas.

9. Hoyador manual

Hoyador de horticultura con cuchara de 225 mm (9") de largo y 75 mm (3") de diámetro y un martillo de caucho para golpear y extraer la muestra de la cuchara.

10. Recipientes para agua

Un tanque de 190 l (50 galones) para el suministro principal de agua; un cilindro graduado de 1000 ml. o un tubo Mariotte para la medida de agua, durante el ensayo; un balde de 12 cuartos de galón (12.7 l) para llenar inicialmente el infiltrómetro y un tramo de manguera de caucho parausarla como sifón y sacar agua del tanque (*Véase Figura S0509_2*).

11. Suministro de Agua

Preferiblemente agua de la misma calidad y temperatura que la usada en el problema que se está examinando.

12. Cronómetro

13. Nivel de carpintero o de ojo de buey (redondo)

14. Libretas para registro de datos.

PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO

- a) El ensayo requiere una área de aproximadamente 3m x 3 m (10' x 10'), a la cual pueda llegar un camión.
- b) El sitio de ensayo deberá hallarse tan nivelado como sea posible, o prepararse de conformidad.
- c) El ensayo puede efectuarse en un pozo si se desean las tasas de infiltración a profundidad, más bien que en la superficie. Evítense sitios con posibles interferencias para el equipo del ensayo, como por ejemplo ganado, escuelas, etc.

PROCEDIMIENTO

15. Hinca o penetración de los anillos de infiltración con maceta

Nota 1: El método preferido es el de penetración (numeral 16).

- a) Colóquese la tapa guía sobre el anillo exterior y céntrese. Instálese el bloque de madera(numeral 3) sobre la tapa guía.
- b) Empújese el anillo exterior hasta 150 mm (6") dentro del suelo con golpes de maceta sobre el bloque de madera. Empléense golpes de fuerza mediana para evitar la facturación de la superficie del suelo. Muévase el bloque de madera alrededor de la tapa guía cada uno o dos golpes, de manera que el anillo penetre uniformemente en el suelo.
- c) Céntrese el anillo menor dentro del mayor y empújese hasta una profundidad de 50 mm (2") empleando la misma técnica descrita anteriormente.
- d) Contrólese con nivel los anillos, corrigiendo su posición para que sean tan verticales, como se requiera.

16. Hinca de los anillos de infiltración con gatos:

- a) Empléese un gato y un camión pesado para hincar los anillos como una alternativa al empleo de la maceta **(Véase numeral 15).**
- b) Céntrese el bloque de madera con respecto a la cabeza de hincada del anillo. Céntrese un gato sobre el bloque de madera. Colóquese el extremo superior del

- gato justo debajo del sitio previamente escogido del chasis del camión y aplíquese presión al anillo por medio del gato y de la reacción del camión.
- c) En suelos de textura densa agréguese, si fuere necesario, peso al camión para desarrollar la fuerza suficiente para hincar el anillo.
- d) Ajústense los anillos con un nivel, corrigiendo la posición de los mismos para que lleguen a ser tan verticales, como sea necesario.

17. Apisonamiento del suelo alterado:

- a) Si el suelo está visiblemente alterado en más de 3 mm (1/8") a partir de la pared interior del anillo, vuélvase a penetrar éste con menor alteración de la muestra.
- b) Si el suelo está visiblemente alterado en menos de 3 mm (1/8"), apisónelo en el área adyacente a la pared interior del anillo con un pisón metálico hasta que el suelo guede tan firme como antes de su alteración.

18. Mantenimiento del nivel de agua:

- a) Instálese un manómetro de profundidad o un tubo Mariotte en cada anillo de infiltrómetro para ayudar visualmente al operario, con el fin de que pueda mantener una cabeza constante. Para un manómetro de profundidad, úsese una cinta o regla de acero, si los suelos tienen permeabilidad alta. Pero si tienen baja permeabilidad, úsese un manómetro de gancho, de un solo punto, o un tubo Mariotte.
- b) Instálense los manómetros que se van a emplear, cerca al centro del anillo central y también en el espacio anular intermedio entre los dos anillos.
- c) Cúbrase la superficie del suelo dentro del anillo central y dentro de los anillos, con protectores para evitar salpicaduras (piezas cuadradas de cáñamo u hojas de caucho de 150 mm (6") de lado) y para evitar la erosión del suelo cuando el suministro de agua inicial se vierta dentro de los anillos.
- d) Úsese un balde para llenar con agua ambos anillos a la misma profundidad deseada en cada uno. No es necesario anotar este volumen inicial de agua. Remuévanse los productos para salpicaduras.
- e) Escójase una cabeza no menor de 25 mm (1") y no mayor de 150 mm (6") y manténganse el nivel de agua tan cerca de la cabeza escogida como sea posible, durante el ensayo.
 - La cabeza se escoge con base en la permeabilidad del suelo; las cabezas más altas se necesitan para suelos de permeabilidad más baja.

19. Medidas:

- a) Regístrense todos los volúmenes de agua que se agregan para mantener una cabeza constante durante un intervalo cronometrado.
- b) Para suelos promedio, regístrese el volumen de agua empleado a intervalos de 15 minutos para la primera hora, de 30 minutos para la segunda, y de 60 minutos durante el resto de un período de no menos de 6 horas o hasta que se alcance una tasa máxima.
- c) En materiales de permeabilidad alta, tómense las primeras lecturas mas frecuentemente. El programa exacto de lecturas puede determinarse únicamente mediante experiencia.

- d) Para materiales de baja permeabilidad, empléese un intervalo mayor de tiempo, posiblemente 24 horas o más. De nuevo, el plan exacto se determina por medio de experiencia.
- e) Coloque la tapa de hincada o alguna otra cubierta sobre los anillos durante los intervalos entre las mediciones de agua, para minimizar la evaporación.
- f) A la conclusión del ensayo, remuévanse los anillos del suelo valiéndose de ligeros golpes en los lados con un martillo de caucho.

CÁLCULOS

- **20. Conviértase** el volumen de agua empleado durante cada intervalo de tiempo medido, en profundidad de agua por unidad de tiempo, en cm. (pulg.) por hora. La velocidad de infiltración se obtiene dividiendo la profundidad del agua por el intervalo de tiempo en horas.
- **21. Efectúense** estos cálculos para el anillo interior, el espacio anular y para ambos anillos combinados.

INFORME

- 22. Anótese la velocidad de infiltración en una libreta o en un formato, regístrese la profundidad del nivel freático, si se conoce, así como una descripción de los suelos hallados entre los anillos y el nivel freático, o por lo menos hasta una profundidad de 6 m (20'). Dibújense los datos en el Gráfico milimetrado del Informe.
 - Regístrese la temperatura y el pH del agua utilizada en el ensayo. Si estuviere disponible, regístrese también un análisis completo del agua.
- Si difieren las tasas para ambos anillos y para el espacio anular, la tasa para el anillo interior deberá ser el valor utilizado. La diferencia en las tasas se debe al flujo divergente. Aún cuando no se considera como una parte necesaria del ensayo, la determinación de la trayectoria de la humedad en el suelo húmedo por debajo de los anillos de infiltración, proporciona comúnmente información útil para interpretar el movimiento del agua a través

El movimiento horizontal del agua puede ser causado, por ejemplo, por capas de baja permeabilidad y se traducirá en una extensión lateral del área mojada.

Por tanto, la exploración de los suelos por debajo de un área de infiltración en una área poco conocida, permite determinar las condiciones subsuperficiales que pueden afectar el ensayo y las posteriores aplicaciones de los datos.

Si se decide efectuar esta clase de estudio, excávese una zanja en tal forma que una de sus paredes pase a lo largo del eje de la primera posición de los anillos. Si el día fuera soleado, orientase la zanja de tal manera que la otra pared quede iluminada por el sol en cuanto fuera factible y excávesela de suficiente longitud para que incluya toda el área recientemente

de cualquier perfil particular de suelos.

humedecida. Tómense muestras de la pared sombreada de la zanja para determinación de la humedad. Si se prefiere, puede emplearse un hoyador, del tipo empleado en horticultura, para delimitar aproximadamente el área húmeda por debajo de los anillos y para tomar muestras para humedad.

Dibújese el contorno del área visiblemente humedecida en papel milimetrado o en la zona correspondiente del formato de informe. Si se recogieron muestras y se determinaron humedades, el contorno del contenido de humedad debe dibujarse igualmente en el gráfico.

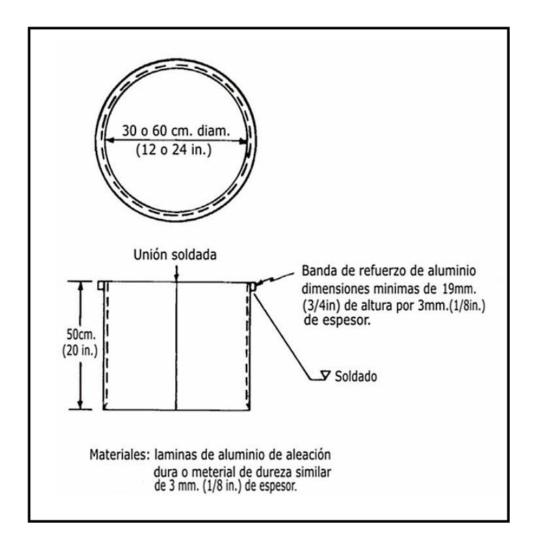


FIGURA S0509_1CONSTRUCCIÓN DEL INFILTRÓMETRO

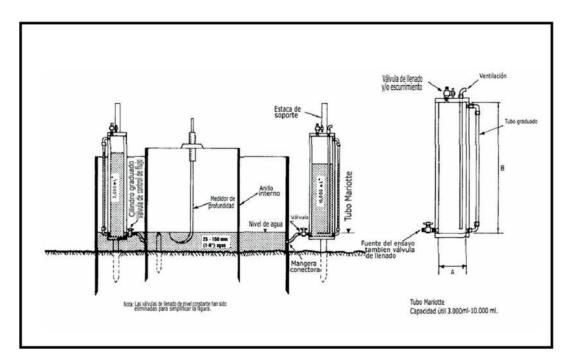


FIGURA \$0509_ DETALLE DE INSTALACIÓN DE ANILLOS Y TUBO MARIOTTE

CAPÍTULO S0510. RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO(CBR "IN SITU") (ASTM D4429)

OBJETO

Este método establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte (comúnmente llamada CBR = California Bearing Ratio), de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos de la subrasante, pero también es aplicable a materiales de subbase y base.

Para hallar la relación de soporte sobre especimenes de laboratorio, refiérase al *Método S0404.*

- **1.** Los ensayos de CBR "in situ" son usados para evaluación y diseño en cualquiera de las condiciones siguientes:
 - a) Cuando el grado de saturación (porcentaje de "vacíos" llenos con agua) es 80% o mayor.
 - b) Cuando el material es de grano grueso y no cohesivo, así que no es afectado de manera significativa por cambios en la humedad.
 - c) Cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo.

En el último caso, la humedad realmente no se vuelve constante sino que generalmente fluctúadentro de un rango más bien estrecho. Por lo tanto, los datos del ensayo de campo pueden usarse para encontrar de manera satisfactoria la capacidad promedio de soporte de carga.

- **2.** Cualquier actividad de construcción, tal como nivelación o compactación, efectuada después del ensayo de relación de soporte, probablemente invalidará los resultados del ensayo.
 - **Nota 1**: Los ensayos de campo se utilizan para determinar la resistencia relativa de los suelos de subbase y algunos materiales de base en la condición en que se encuentran en el momento del ensayo. Tales resultados tienen aplicación directa en tramos de prueba, y en alguna operación de construcción específica u otra similar. Además, como se indicó en el numeral 1, los ensayos de campo pueden ser utilizados para diseñar bajo condiciones determinadas de humedad, densidad y características generales del material ensayado.

Sin embargo, cualquier alteración significativa por compactación, maniobra o cambio de humedad puede afectar la resistencia del suelo y dejar sin validez los resultados del ensayo efectuado previamente, conduciendo a la necesidad de un nuevo ensayo y nuevos análisis.

EQUIPOS Y MATERIALES

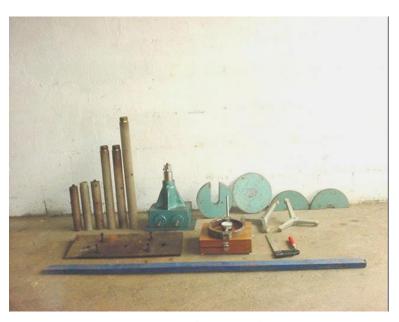
- **3.** Gato mecánico de tornillo, operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:
 - a) Capacidad máxima de 2700 Kg. (5950 lb).
 - b) Mínima altura de elevación: 50 mm (2").
 - c) Manubrio desmontable 150 mm (6") de radio.
 - **d)** Relación de velocidad alta, aproximadamente 2.4 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - e) Relación de velocidad media, aproximadamente 5 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - f) Relación de velocidad baja, aproximadamente 14 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - g) Pueden usarse otras relaciones de velocidad, cuando ésto sea más conveniente.
 - h) También se pueden usar otros gatos mecánicos, con la misma carga máxima y altura de elevación, siempre y cuando se obtenga con ellos una tasa uniforme de penetración-carga de 1,3 mm (0.05") por minuto.
- 4. Anillos de carga, dos en total, debidamente calibrados, uno de ellos con amplitud de carga de 0 a 8,8 kN (1984 lbf) y el otro de 0 a 22,6 kN (5070 lbf) aproximadamente.
- 5. Pistón de penetración, de 50.8 ± 0.1 mm (2 ± 0.004 ") de diámetro ($3 \text{ pulg}^2 = 19.35 \text{ cm} 2$ de área) y aproximadamente 101 mm (4") de longitud. Debe constar además, de un adaptador de pistón y de extensiones de tubo de rosca interna con conectores.
- 6. Diales, deben existir dos diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0,0025 mm (0.0001") y recorrido de aproximadamente 6,4 mm (0.25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0,025 mm (0.001") y recorrido de aproximadamente 25 mm(1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.
- 7. Soporte para el dial de penetración, o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1,5 m (5 pies).
- 8. Platina de sobrecarga, circular, de acero, de 254 ± 0.5 mm (10 ± 0.02 ") de diámetro, con un agujero central circular de 51 ± 0.5 mm (2 ± 0.02 "). La platina debe pesar 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb).
- 9. Pesas de sobrecarga. Dos pesas anulares de sobrecarga de 4,54 \pm 0,01 kg (10 \pm 0.02 lb), de 216 \pm 1 mm (8.5 \pm 0.04") de diámetro total, y dos pesas similares de las mismas dimensiones, pero de 9,08 \pm 0,01 kg. (20 \pm 0.02 lb) cada una.

10. Vehículo de carga (Reacción). Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb).

El vehículo debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo.

El vehículo se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0,6 m (2 pies).

- **11.** Gatos. Dos gatos tipo camión, de 14 Mg (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.
- **12.** Equipo misceláneo. Envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.



Equipos y Materiales requeridos

Nota 2: La Figura S0510_1 muestra una instalación típica del ensayo en el terreno. La Figura S0510_2 muestra el conjunto de elementos que componen el aparato.

PROCEDIMIENTO

13. Alístese el área de la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar.

Prepárese un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base no plásticos, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado.

Esta separación debe ser como mínimo 175 mm (7") en suelos plásticos y de 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.



Preparación de la Superficie de Ensayo



Instalación del Anillo de Carga

- 14. Localícese el vehículo en tal forma que el dispositivo de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Instálese el gato mecánico debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Colóquense los gatos de camión a cada lado del vehículo y levántese para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; cerciórese de que el vehículo está nivelado en la parte trasera.
- **15.** Ubíquese el gato mecánico en la posición correcta y conéctese el anillo de carga al extremo del gato.

Conéctese el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo, adiciónese el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo yconéctese el pistón de penetración. Sujétese el gato en su sitio. Compruébese el nivel del montaje del gato para asegurarse su verticalidad y háganse los ajustes que sean necesarios.

- **16.** Colóquese la platina de sobrecarga de 4,5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central.
- **17.** Asiéntese el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente 21 kPa (3 lb/pulg²). Para una rápida colocación, úsese la relación de alta velocidad del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, colóquese el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza (tamices de 0,85 mm (№.20) 0,425 mm (№.40)) o de yeso.
- 18. Si es necesario para lograr una superficie uniforme, levántese la platina de carga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y espolvoréese uniformemente arena fina, en un espesor de 3 a6 mm (0.12 a 0.24"), sobre la superficie cubierta con la platina. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- 19. Adiciónense a la platina un número de pesos de sobrecarga tal, que transmita una presión equivalente a la intensidad de carga, producida por las capas de pavimento, que se colocarán sobre la sub-rasante, o la base o ambos, excepto que la mínima pesa aplicada será la de 4.5 kg (10 lb) más una pesa de sobrecarga de 9 Kg. (20 lb).
- **20.** Fíjese el soporte del dial de penetración al pistón y sujétese el dial a dicho soporte.
- **21.** Colóquense en cero las lecturas de ambos diales.
- 22. Aplíquese la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1,3 mm (0.05") por minuto. Utilizando la relación de baja velocidad del gatodurante el ensayo se puede mantener una tasa uniforme de penetración por parte del operador.



Instalación de los Diales de Carga

Regístrense las lecturas del anillo de carga para cada 0,64 mm (0.025") de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12,70 mm (0.500"). En suelos homogéneos lasprofundidades de penetración mayores de 7,62 mm (0.300") frecuentemente se pueden omitir.

Calcúlese la relación de soporte en porcentaje. (Véase el apartado de Cálculos).







Personal Integrado en el Ensayo Determinación de la Humedad y Peso Unitario

Nota 3: Se requiere de personal para manejar la manivela de la prensa y otra persona para tomar las lecturas del anillo de carga.

23. Al finalizar el ensayo, obténgase una muestra en el punto de penetración y determínese su humedad.

También debe determinarse el peso unitario -DENSIDAD - en un sitio localizado de 100 a150 mm (4" a 6") desde el punto de penetración. El peso unitario debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayo \$0501 (Método del Cono de Arena), \$0506 (Método del Balón de Caucho), 50502 (Método del Cilindro Penetrante) o 50507 (Métodos Nucleares).

CÁLCULOS

24. Curva de Esfuerzo-Penetración

Calcúlese el esfuerzo de penetración para cada incremento de penetración, dividiendo la fuerza aplicada por el área del pistón. Dibújese la curva de Esfuerzo vs. Penetración para cada incremento de penetración, como se muestra en la Figura S0510_3.

En ocasiones, la curva de Esfuerzo vs. Penetración puede en su parte inicial resultar cóncava hacia arriba, debido a irregularidades de la superficie u otras causas y, en tales casos, el punto cero se debe ajustar como se indica en la Figura S0510_3.

25. Relación de Soporte

De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo para penetraciones de 2,54 mm (0.100") y5.08 mm (0.200") y calcúlense las relaciones de soporte para cada uno dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia de 6,9 MPa (1000 lb/pulg²) y 10,3 MPa (1500 lb/pulg²) respectivamente y multiplíquese por 100. Calcúlense adicionalmente las relaciones de soporte para el máximo esfuerzo si la penetración es menor de 5,08 mm

(0.200"), interpolando el esfuerzo de referencia. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0.100") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0.200") de penetración resulta ser mayor, repítase el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0.200") de penetración.

26. Si los valores de relación de soporte para penetraciones de 7,62, 10,16 y 12,7 mm (0.300", 0.400" y 0.500") son requeridos, los valores de esfuerzo corregidos para estas penetraciones deben dividirse por los esfuerzos de referencia para 13,1, 15,9 y 17,9 MPa (1900, 2300 y 2600 lb/pulg²) respectivamente y multiplicarse por 100.

INFORME

El informe debe incluir la siguiente información para cada ensayo:

- a) Localización del ensayo.
- b) Material.
- c) Profundidad del ensayo.
- d) Curva de Esfuerzo Penetración.
- e) Relación de Soporte corregida para 2,54 mm (0.1") de penetración.
- f) Relación de Soporte corregida para 5,08 mm (0.2") de penetración.
- g) Humedad.
- h) Densidad.



FIGURA \$0510_1 INSTALACIÓN TÍPICA DEL ENSAYO EN EL TERRENO



FIGURA \$0510_2 CONJUNTO DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL APARATO

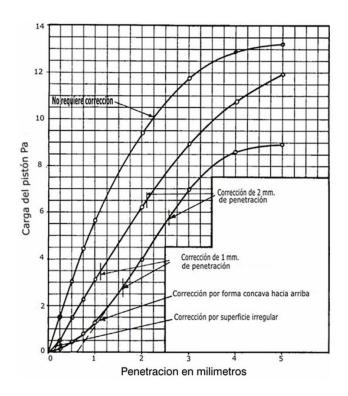


FIGURA S0510_3 CORRECCIÓN DE LA CURVA ESFUERZO VS. PENETRACIÓN

CAPÍTULO S0511. ENSAYO DE CORTE SOBRE SUELOS COHESIVOS EN EL TERRENO, USANDO LA VELETA (AASHTO T223)

OBJETO

Este método se refiere al ensayo de veleta en el terreno, en suelos cohesivos blandos y saturados. Es necesario conocer la naturaleza del suelo en el cual se ha de efectuar cada ensayo, para asegurarse de su aplicabilidad e interpretación.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. En la Figura 0511_1 se muestran los diferentes tipos de veletas. Cada una tendrá cuatro hojas perpendiculares entre sí, y en algunos casos su altura será el doble del diámetro. Las dimensiones de la veleta deberán ser las especificadas en la Tabla S0511_1. Podrán emplearse dimensiones diferentes a las especificadas, únicamente con autorización previa. Los bordes de las hojas de la veleta que penetran deberán afilarse, cuidando que no se altere el ángulo de 90° comprendido entre ellas.

TABLA S0511_1 DIMENSIONES DE LA VELETA

Tipo de veleta	Diámetro de la hoja	Diámetro del eje	Espesor de la hoja
	(mm)	(mm)	(mm)
Miniatura	12,7	3,5	0,5

- 2. La veleta deberá operarse desde la superficie conectándola con varillas de torsión, de acero. Estas varillas deberán ser de un diámetro tal, que no sea excedido su límite elástico cuando la veleta sea sometida a su capacidad plena (véase el numeral 4) y deberán acoplarse muy bien, para evitar cualquier posibilidad de que el ajuste del acople, ocurra cuando se aplique la rotación, al ejecutar el ensayo. Si se emplea revestimiento para la veleta, las varillas de torsión deberán equiparse con cojinetes bien lubricados en los sitios donde ellas pasen a través del mismo.
- **3.** Estos cojinetes deberán estar provistos de sellos que eviten la entrada de suelo en ellos. Las varillas de giro deberán guiarse de tal manera, que se evite el desarrollo de fricción entre ellas y las paredes del revestimiento o de la perforación.
- 4. La fuerza de giro deberá aplicarse a las varillas quienes la transmiten a la veleta. La precisión de la lectura del giro deberá ser tal, que no produzca una variación mayor de ± 1,2 kPa (25 lb/pie²) en la resistencia al corte.

5. Es preferible aplicar la torsión a la veleta mediante un engranaje de transmisión. En ausencia de éste, puede aplicarse directamente el giro mediante una llave de torsión o algo equivalente. La duración del ensayo deberá controlarse de acuerdo con las exigencias indicadas en el numeral 7.

Si es necesario determinar curvas de momento vs rotación, es esencial calibrar las varillas de rotación antes de emplearlas. La magnitud del giro de la varilla (si lo hubiera) deberá establecerse en grados/pie/unidad de momento. Esta corrección se hace progresivamente más importante a medida que aumenta la profundidad; la calibración deberá efectuarse por lo menos hasta la profundidad máxima esperada, para el ensayo.

PROCEDIMIENTO

- 6. Penétrese la veleta desde el fondo del agujero o de su revestimiento, mediante un simple empuje, hasta la profundidad a la cual se va a efectuar el ensayo, cuidando que no se aplique torsión durante dicho empuje.
- Cuando se emplee revestimiento para la veleta, aváncese éste hasta una profundidad no menor de cinco diámetros del revestimiento por encima de la profundidad deseada para la punta de la veleta. Cuando no se utilice revestimiento, suspéndase el hueco a una profundidad tal que el extremo de la veleta pueda penetrar dentro del suelo inalterado, una profundidad de por lo menos cinco veces el diámetro de la perforación.
- 8. Con la veleta en posición, aplíquese el giro a una tasa que no exceda de 0,1°/seg. Generalmente se requieren para la falla, entre 2 y 5 minutos, excepto en arcillas muy blandas en las cuales el tiempo de falla puede elevarse a 10 ó 15 minutos. En materiales más duros, que alcanzan la falla con una deformación pequeña, se puede reducir la tasa del desplazamiento angular de tal manera que pueda obtenerse un valor razonable de las propiedades esfuerzo-deformación. Durante la rotación de la veleta, manténgase ésta a una altura fija. Anótese el momento máximo. Con aparatos de transmisión, se deben anotar valores intermedios del momento, a intervalos de 15 seg. o menores, si las condiciones lo exigen.
- 9. Después de determinar el máximo momento, rótese rápidamente la veleta un mínimo de 10 revoluciones; inmediatamente después se determinará la resistencia remoldeada, en todos los casos dentro del minuto siguiente al remoldeo.
- 10. En los casos en los cuales el suelo esté en contacto con la varilla de giro, determínese la fricción entre la varilla y el suelo por medio de ensayos de giro efectuados con varillas similares aprofundidades equivalentes, sin la veleta colocada. Efectúese el ensayo de fricción de la varilla por lo menos una vez en cada sitio.
- 11. En aparatos en los cuales la varilla de giro esté completamente aislada del suelo, verifíquese un ensayo de fricción con una varilla lisa al menos una vez en cada sitio, para determinar la magnitud de la fricción de los cojinetes o guías. En dispositivos de veleta que funcionen adecuadamente, esta fricción deberá ser despreciable.

- 12. Efectúense ensayos con veleta únicamente en suelos cohesivos, inalterados y remoldeados. No deben realizarse en ningún suelo que permita el drenaje o que se dilate durante el período de ensayo, como en arenas o limos, o en suelos en los cuales la veleta encuentre piedras o conchas que puedan influir en los resultados.
 - En algunos casos no es necesario remover la veleta para el ensayo de fricción. En tanto que la veleta no se halle en contacto con el suelo, esto es, cuando se encuentre dentro de un revestimiento, no resulta afectada por las medidas de fricción.

CÁLCULOS

13. Calcúlese la resistencia al corte del suelo mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$s (resistencia \ al \ corte) = \frac{12T}{\Pi D^2 \left(\frac{D}{\cos i_T} + \frac{D}{\cos i_B} + 6H \right)}$$

Donde:

T = Momento de giro en N-m (lb-pie).

s = Resistencia al corte de la arcilla en kPa (lb/pie²).

D= Diámetro de la veleta.

H = Altura de la veleta.

iT = Ángulo de afilamiento superior de la veleta.

iB = Ángulo de afilamiento inferior de la veleta.

Periódicamente deberán comprobarse las dimensiones de la veleta para asegurarse de que no esté desgastada ni distorsionada.

INFORME

- **14.** Para cada ensayo de veleta regístrense las observaciones siguientes:
 - a) Fecha del Ensayo.
 - b) Número del apique o perforación.
 - c) Tamaño y forma de la veleta (ahusada o rectangular).
 - d) Profundidad del extremo de la veleta.
 - e) Profundidad del extremo de la veleta por debajo del revestimiento o fondo del hueco.

- f) Lectura máxima del momento y, si se requieren, lecturas intermedias para el ensayo inalterado.
- g) Tiempo del ensayo hasta la falla.
- h) Velocidad del remoldeo.
- i) Lectura máxima del momento para el ensayo remoldeado.
- j) Notas sobre cualquier clase de desviaciones con respecto al procedimiento normal de ensayo.
- **15.** Adicionalmente, anótense las observaciones sobre la perforación:
 - a) Número del sondeo.
 - b) Sitio.
 - c) Condiciones del suelo en el sitio.
 - d) Cota de referencia.
 - e) Método de ejecución de la perforación.
 - f) Descripción de la veleta, esto es, si tiene camisa o no.
 - g) Descripción del método para aplicar y medir el momento.
 - h) Observaciones sobre la resistencia o la penetración.
 - i) Nombres del inspector de la perforación y del ingeniero Supervisor.

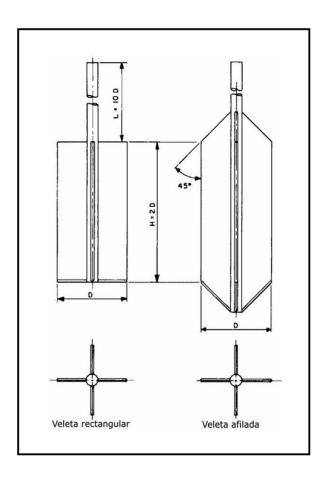


FIGURA S0511_1 GEOMETRÍA DE LAS VELETAS

CAPÍTULO S0512. INSTALACIÓN, MONITOREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE INCLINÓMETRO DE RECORRIDO PARA TALUDES (AASHTO T254)

OBJETO

Este método proporciona instrucciones para la instalación, monitoreo y recolección de datos de inclinómetros del tipo de recorrido para taludes, los cuales se emplean con un revestimiento guía.

Un inclinómetro de taludes es un instrumento de precisión, que mide el desplazamiento lateral de un revestimiento guía, resultante del movimiento de un volumen de tierra, cuerpo de concreto u otras masas donde esté instalado. Este tipo de instrumento puede emplearse para detectar y servir de monitor de movimientos en presas de tierra y de enrocado, en terraplenes y fundaciones de carreteras, en excavaciones para taludes, tablestacados, muros de contención de concreto, y otras estructuras. Como el instrumento es a prueba de agua, puede emplearse en proyectos en los cuales no serían posibles mediciones normales, tales como el desplazamiento de la parte inferior de un tubo pilote.

Los datos obtenidos, que son bastante adecuados para el procesamiento por computador, pueden emplearse para interpretar superficies de falla, en zonas de deslizamiento; y como una base para predecir fallas independientes de corte; o fallas estructurales basadas en la magnitud y tasa de la deformación lateral que se presenta.

El método esta dividido en las partes siguientes:

- Parte I, método de instalación del revestimiento guía para el inclinómetro de taludes.
- Parte II, método de monitoreo para el revestimiento guía de inclinómetro de taludes.
- Parte III, método para el análisis y cálculo de los datos.

PARTE I. MÉTODO DE INSTALACIÓN DEL REVESTIMIENTO GUÍA PARA EL INCLINÓMETRO DE TALUDES

Equipos y materiales

1. Equipo de perforación

Dispositivo para sondeos, con capacidad para perforar un hueco de un diámetro suficientemente grande como para acomodar el tamaño particular del revestimiento para el inclinómetro de taludes, y que permita el relleno adecuado. La profundidad requerida para la perforación varía con cada instalación particular, con el sitio y/o con el criterio del Ingeniero. Normalmente, podrá emplearse un dispositivo de perforación que pueda perforar un hueco

de 200 mm (8") de diámetro y de aproximadamente 60 m (200') de profundidad. Para instalaciones poco profundas, podrá emplearse un dispositivo de perforación más pequeño.

2. Revestimiento guía

El revestimiento guía, generalmente es de sección circular, de plástico estrujado ó de aluminio, con cuatro ranuras longitudinales, igualmente espaciadas sobre el interior del revestimiento, compatibles con la unidad sensible usada. Sin embargo, algunos revestimientos pueden no ser ranurados, en razón de que la unidad sensible mantiene la orientación adecuada mediante el empleo de varillas de orientación con cierre metálico. Algunos inclinómetros pueden emplearse con revestimiento cuadrado de perfiles de acero, con las ruedas guía de la unidad sensible encarriladas en las esquinas opuestas del revestimiento.

El revestimiento se consigue en diámetros variados y puede tener cualquier longitud conveniente, como en secciones de 1,5 m ó 3,0 m (5" o 10").

3. Uniones

Las uniones pueden ser de aluminio estrujado, con cuatro ranuras igualmente espaciadas, o cilíndricas de plástico, y generalmente tienen una longitud de 150 mm (6"). En casos en los cuales se esperen asentamientos, pueden emplearse uniones más largas para los tramos de revestimiento.

En esos casos, la separación resultante entre tramos adyacentes permite el movimiento telescópico del revestimiento a medida que ocurre la compresión de los materiales circundantes.

4. Herramientas para la instalación

Las herramientas especificadas por el fabricante para la instalación del revestimiento guía del inclinómetro, consisten normalmente de una pistola para remachar, remaches pop, abrazaderas para revestimiento, sierra para metales, taladro eléctrico o manual, brocas para taladro, cinta para medir, y algún dispositivo para marcar ranuras del revestimiento como un marcador con punta de fieltro o una lima. Para revestimiento plástico, se puede utilizar un instrumento de rueda especial, con ranura para alineamiento, tubo o cinta para rotular, y solvente para cemento.

Deberá emplearse un vibrador para la compactación del relleno, si fuere necesario.

5. Tapones

Tapones ajustables al revestimiento guía en uso, empleados para proteger la tapa y el fondo del revestimiento, del efecto de lodos y desechos. Se puede usar un tapón cónico para facilitar la inserción del revestimiento dentro de un agujero de paredes rugosas.

6. Dispositivos de protección (opcionales)

Tapa para el hueco u otro dispositivo de protección, para minimizar daños, y que sea suficientemente grande, para permitir que el conjunto de la abrazadera con la polea guía del cable, sea instalado en la parte superior del revestimiento. Puede emplearse un tubo metálico, bien sea con tapa roscada o con bisagras, aldaba, candado u otro tipo de cerradura.

7. Perforación y preparación del hueco

El tamaño del hueco de perforación deberá ser suficientemente grande como para acomodar el tamaño del revestimiento empleado; y dependerá de cada instalación en particular, de su localización, materiales encontrados, profundidad y materiales de relleno disponibles, o lo que indique la Interventoría. Los huecos más grandes facilitan el relleno. Los de diámetro mínimo pueden ser apenas suficientes para acomodar el revestimiento. Esto es aplicable en los casos donde el material puede cerrarse más o menos rápidamente. Normalmente, el hueco puede ser aproximadamente 2 veces el diámetro exterior del revestimiento o como mínimo entre 120 y 150 mm mayor. El agujero deberá ser tan vertical como sea posible y penetrar entre 1 y 1,5 m dentro del material estable y de todas maneras por debajo de la zona estimada de falla.

- 8. El agujero perforado generalmente deberá limpiarse mediante un chorro de agua o soplarse con aire comprimido antes de intentar la instalación del revestimiento del inclinómetro. Dependiendo de la instalación, algunas veces será necesario dejar lodo de perforación (si éste fue usado) en el agujero, para controlar la formación de cavernas y permitir con ello un relleno adecuado.
- 9. Cualquier medio para ejecutar una perforación es satisfactorio, en tanto sea adecuado para las condiciones del sitio de la obra. Si el terreno es firme y si el agujero ha de permanecer abierto sin revestimiento, entonces un hueco, bien sea en seco (perforado con barrena de tramo continuo), o un agujero lleno con agua (perforado con barrena cortante o rotatoria y empleando agua para limpiar los cortes), es igualmente satisfactorio.
 - a) Las barrenas de vástago hueco pueden usarse con éxito, por cuanto pueden sacarse después de la instalación del revestimiento del inclinómetro. Si se espera que el suelo se comprima por causa de suelos blandos, o que se formen derrumbes a causa de arena, deberá emplearse lodo de perforación y dejarse hasta la conclusión del hueco.

- b) Si se emplea lodo de perforación, puede presentarse alguna dificultad al hacer que el revestimiento baje completamente en el hueco, pero puede obviarse ésto, al llenar el revestimiento con agua o con otro medio líquido.
- **10.** Puede emplearse acero o cualquier otro tipo de encamisado, si se justifica, para evitar el derrumbe de la perforación. Generalmente se emplean protecciones metálicas de aleaciones de acero enriquecido.

Este encamisado de acero deberá tener un diámetro suficientemente grande que permita colocar el material de relleno en el espacio anular entre dicha protección y el diámetro exterior del revestimiento del inclinómetro de taludes. El material de relleno podrá colocarse a paladas o vaciarse en pequeñas cantidades, mientras que al mismo tiempo se hala el encamisado en incrementos pequeños. Debe tenerse cuidado de que el material de relleno no trabe el encamisado de acero contra el revestimiento del inclinómetro de taludes. En casos extremadamente difíciles, debe dejarse la protección de acero en el sitio después de concluida la perforación. Sin embargo, este encamisado de acero tiende a engrosar cualquier zona en movimiento. Deberá tenerse cuidado de mantener la orientación apropiada del inclinómetro, mientras se efectúa el rellenado.

Instalación del revestimiento para el inclinómetro

- 11. Puede emplearse cualquier tipo de revestimiento para el inclinómetro, en tanto cumpla con las exigencias del fabricante y sea compatible con la unidad sensible utilizada. Generalmente, se emplea revestimiento de aluminio o de plástico en la mayoría de las instalaciones; sin embargo, pueden emplearse revestimientos de acero o de otra clase, bajo determinadas condiciones.
- 12. La siguiente es una breve explicación de las técnicas de instalación para revestimientos típicos de aluminio y plástico, pero deberá hacerse referencia al manual de instalación del fabricante, para una explicación mas detallada.

13. Revestimiento de aluminio

Se fija un tapón a la sección más profunda del revestimiento, taladrando normalmente y empleando remaches pop. Deberán emplearse suficientes remaches, generalmente de 2 a 4, para asegurar el tapón al revestimiento.

Se fija una unión de aluminio sobre el borde exterior del revestimiento, con remaches pop. Cuando se emplean 4 remaches, deberán colocarse a una separación aproximada a 90°. Deberá tenerse extremo cuidado de no colocar ningún remache en las ranuras de localización del instrumento o en las sendas para las ruedas.

Bájese la primera sección del revestimiento dentro del hueco, con el tapón en el extremo inferior y la unión colocada sobre la parte superior. Deberá fijarse una abrazadera al revestimiento, entre 300 y 600 mm del tope del mismo.

Deben instalarse ciertos tipos de dispositivos de "agarre" para asegurar que la abrazadera se apoye en forma segura en la parte superior del agujero y evite que el revestimiento caiga dentro del mismo.

Debe mantenerse en forma adecuada la orientación de las ranuras guías durante la instalación. Generalmente pueden orientarse en forma perpendicular o paralela a la dirección prevista del movimiento, o como lo ordene la Interventoría. Sin embargo, la orientación de las ranuras de los revestimientos en huecos diferentes deberá ser consistente, para evitar confusión. Puede hacerse expedita la instalación, si el revestimiento se ensambla previamente y se acopla en unidades de 3 a6 m cada una. Se inserta el siguiente tramo del revestimiento dentro de la unión superior, se alinean las ranuras y se asegura el tramo inferior del revestimiento, con remaches pop. Losextremos del revestimiento son empalmados juntamente antes de perforar y colocar los remaches pop.

Deberá agregarse una abrazadera al extremo superior de la tapa del revestimiento. Deberá removerse la abrazadera inferior y bajarse el revestimiento dentro del hueco. Se agregarán mas secciones de revestimiento como se describió atrás, hasta que el revestimiento descanse sobre el fondo del agujero. Lávese el revestimiento con agua si fuere necesario. La porción del revestimiento que sobresalga, si la hubiere, deberá cortarse a una altura adecuada con una sierra para metales. Los procedimientos de instalación son los mismos para acoples telescópicos, excepto que se emplean remaches pop especiales o tornillos y se deja una separación entre los extremos de los acoples para permitir la medida de los asentamientos.

14. Revestimiento plástico

Puede instalarse el revestimiento plástico de la misma manera que el de aluminio. Usualmente, pueden emplearse uniones de plástico o de aluminio.

Cada extremo del plástico deberá tener una marca grabada o pintada con un marcador de punta de fieltro, para evitar que se coloquen los remaches en las ranuras guías del instrumento. Para unir el revestimiento y los acoples, pueden emplearse pegantes compatibles con el revestimiento plástico y/o remaches pop. Pueden emplearse ambos para instalaciones extremadamente profundas.

Con el revestimiento plástico se emplea una herramienta especial para guía del alineamiento en la ranura. La herramienta es generalmente insertada en la mitad de la parte superior del

primer tramo en el hueco. El extremo suelto de una cuerda que haya sido insertada a través del revestimiento siguiente, se fija a la herramienta de alineamiento para halarla a través del revestimiento y alinearla con el siguiente tramo colocado. Se hace esto hasta que todos los revestimientos estén colocados.

Los dos tramos se fijan cuidadosamente, alineando las ranuras guías. Los extremos del revestimiento deben empalmarse juntos. Los dos tramos pueden fijarse con remaches pop y/o pegante. Las abrazaderas del revestimiento deberán emplearse, para evitar que éste caiga dentro del hueco. Se baja y se agrega otro tramo de revestimiento, sobre la mitad de la herramienta de alineamiento que haya sido extraída.

Continúese el procedimiento hasta que descanse el revestimiento sobre el fondo del hueco. Se corta cualquier exceso de revestimiento que sobre, con una sierra para metales. La orientación predeterminada de las ranuras guías del instrumento, deberá mantenerse adecuadamente. Los procedimientos de instalación son los mismos para uniones telescópicas, excepto que generalmente se emplean pasadores para alinear automáticamente las ranuras. Si se emplean uniones telescópicas, no deberá permitirse que el revestimiento descanse sobre el fondo de la perforación, donde su peso haría que una sección se introdujera en la otra.

- Las uniones del revestimiento pueden ser o no herméticas. Si se llena el hueco con lodo de perforación, éste puede entrar al revestimiento a medida que sea instalado. Igualmente, la inyección de lechada para llenar el espacio anular alrededor del revestimiento, puede penetrar en el revestimiento.
 - En tales casos, el revestimiento de aluminio o de plástico deberá lavarse con agua limpia, antes de que se haya endurecido la lechada. Se puede también, durante el lavado, bajar a través del revestimiento un cepillo duro para limpiar las ranuras longitudinales. Puede aminorarse el ingreso de lodo o de lechada parafinando, encolando o tapando todas las juntas.
- 16. Si se emplea arena o grava como material de relleno y si se desean medidas del agua subterránea a partir de la instalación, pueden perforarse pequeños agujeros o ranuras en el tramo del fondo del revestimiento del inclinómetro.

Relleno del revestimiento del inclinómetro

17. La calidad y extensión del relleno del inclinómetro de taludes depende de la instalación en particular, de las condiciones del nivel freático y del tipo de materiales de relleno. Generalmente se obtienen mejores resultados si al rellenar, se tiene cuidado de evitar cualquier vacío, formación de arco o asentamientos en el material de relleno. Para mitigar la formación de arco, puede emplearse un impulsor de aire u otro tipo de vibrador.

18. Puede colocarse una tapa sobre la parte superior del revestimiento, antes de rellenar, para evitar que caiga material de relleno dentro del mismo.

19. Arena **seca**

Puede usarse arena seca para el relleno, cuando la perforación está seca, es relativamente poco profunda y de un diámetro relativamente pequeño (120 a200 mm). La arena deberá estar limpia, seca y tener tamaño uniforme, si es posible. Lo ideal es la arena normalizada; la arena lavada para concreto es igualmente aceptable.

La arena puede densificarse mediante vibración, colocándola a paladas o vertiéndola lentamente, a través de una malla de alambre para evitar la formación de arco. Algunas veces, puede asentarse más tarde la arena y producir deformaciones, tanto verticales como horizontales, en el revestimiento, que no son debidas a movimientos del terreno.

20. Relleno con 9,5 mm (3/8")

Podrá emplearse cualquier gravilla que resulte satisfactoria, como por ejemplo con tamaño máximo de 9,5 mm (3/8") o picadura de caliza. La gravilla deberá palearse lentamente en incrementos pequeños para evitar cualquier formación de arco que pueda ocurrir. La gravilla puede emplearse en huecos de perforación más profundos donde sea necesario efectuar mediciones de agua subterránea.

21. Relleno de lechada de cemento

Un material de relleno bastante aceptable es la lechada de cemento. Puede consistir de una lechada magra de cemento, una lechada de arcilla-cemento o un lodo de perforación tixotrópico. Una mezcla de 75 Kg. de cal hidratada con 50 Kg. de cemento Pórtland o una mezcla de cemento Pórtland con 15% de bentonita en volumen, podrán considerarse buenas mezclas de lechada. Otra mezcla económica simple consiste en mortero con suficiente agua, que le permita regarse dentro del agujero.

Nota 1; Lodo tixotrópico: El que tiene la característica de licuarse cuando es agitado mecánicamente por vibración de ondas sonoras, que recupera su consistencia al dejarlo en reposo.

La lechada debe vaciarse alrededor del revestimiento desde la superficie del terreno o deberá inyectarse, a través de un tubo de diámetro pequeño que esté conectado al fondo de la sección del revestimiento, en el espacio anular entre el revestimiento y la perforación. La lechada puede inyectarse también dentro del agujero, mediante un tubo plástico de diámetro pequeño que se inserta dentro del revestimiento, y está fijado a un dispositivo de válvula de control en el fondo del mismo. Si se instaló revestimiento exterior de acero en el hueco, éste deberá sacarse antes de que fragüe la lechada. Cuando se requieran mediciones del nivel freático, no es aconsejable el relleno con lechada de cemento.

- 22. Si fuera necesario, instálese la tapa para el hueco u otro dispositivo de protección sobre el tope del revestimiento, antes de la conclusión del relleno. Rellénese entonces alrededor y dentro de la tapa del hueco, dejando suficiente revestimiento expuesto que brinde espacio para el dispositivo de la abrazadera-guía.
- 23. La información de identificación pertinente debe incluir la localización y profundidad del agujero las cuales, deben estar marcadas permanentemente en el interior de la tapa que cubre el hueco.

Dependiendo de la situación, las lecturas iniciales deberán diferirse por lo menos 24 horas, para permitir que se asiente el relleno y que se estabilice el revestimiento. Después de que el revestimiento y la tapa del hueco han sido instaladas y rellenadas, es deseable referenciar las ranuras guías con el norte magnético, de tal manera que las lecturas subsiguientes se hagan con relación a las mismas ranuras.

PARTE II. MÉTODO DE CONTROLAR EL REVESTIMIENTO GUÍA DE INCLINÓMETRO PARA TALUDES

Equipos y materiales

- **24.** Inclinómetro para taludes.
 - Unidad de lectura, unidad sensible, cable de interconexión y/o varillas metálicas de orientación.
- **25.** Conjunto de abrazadera de la rueda guía.
- **26.** Revestimiento opcional de extensión con acoples anexos.
- **27.** A veces se presentan problemas ocasionados por el giro del revestimiento después de la instalación
 - Este giro es debido a irregularidades en los procesos de fabricación del revestimiento ó a rotación de las juntas durante la colocación.

Instrumentos

28. Hay varios tipos de instrumentos disponibles comercialmente. El inclinómetro con unidad sensible tiene generalmente dos conjuntos de ruedas que consisten en una rueda rígida para guía y en una rueda con resorte para orientación. Estos dos conjuntos de ruedas están localizados cerca de cada extremo del inclinómetro. Se emplean diferentes dispositivos para determinar el ángulo de inclinación o deflexión con la unidad sensible; por ejemplo: elementos de resistencia de precisión y un péndulo, medidores de deformación sobre un péndulo, péndulo y alambre vibrante, péndulo con transformador diferencial, servo-acelerómetros, etc.

Cada configuración produce una salida de voltaje que es medida en la superficie, con una unidad de lectura. Algunas unidades tienen capacidad para producir cintas compatibles con los computadores, acelerando con ello el procesamiento de los datos.

Control con el sensor de tipo de péndulo

29. Descripción

Muchos sensores de tipo de péndulo, tienen forma alargada y cilíndrica, típica de muchos de estos tipos de instrumentos. Los conjuntos de ruedas (fija y con resorte cargado) están separados una cierta distancia (o longitud calibrada), y guían al instrumento dentro de los revestimientos ranurados. Dentro de la carcaza están un péndulo y un elemento de precisión de resistencia de alambre torcido, el cual forma a través del circuito, la mitad de un puente convencional de Wheatstone. La otra mitad del circuito, se halla en la unidad de control en la superficie del terreno. La oscilación del péndulo cambia la resistencia en el circuito y se obtiene una lectura, balanceando el puente de Wheatstone. Una descripción detallada del dispositivo, se puede consultar en el catálogo del fabricante.

30. Operación

La siguiente es una breve explicación de la técnica de operación; para una explicación más detallada será necesario referirse al manual de instrucciones del equipo. Para verificar si el sistema está trabajando adecuadamente, deberá efectuarse una calibración en el laboratorio antes de su empleo en el terreno. La media de la suma de lecturas opuestas (cada lectura en dirección opuesta, es decir, rotadas 180°), calculadas para cada una de tres o cuatro posiciones de ángulos de inclinación, es suficiente para determinar su condición de trabajo.

Después de ensamblado, el inclinómetro se baja hasta el fondo del hueco, desde donde las lecturas son registradas (hacia arriba), para incrementos especificados. Este procedimiento se repite empleando cada una de las cuatro ranuras y las ruedas fijas de los conjuntos para orientar la prueba. Se hace una comparación en el sitio, entre el valor de la suma de cada grupo de lecturas (ranuras opuestas), y el promedio de todos los grupos de lecturas para la longitud del agujero.

Si hubiera una variación de más de 10 unidades del dial con respecto a la media, se vuelve a localizar el inclinómetro a la profundidad en cuestión y se toma una lectura adicional. Para asegurar la repetitividad, cada vez las mediciones deberán efectuarse exactamente a la misma profundidad.

Deberá establecerse, también, un sistema que asegure que cada operador pueda identificar y registrar la posición del instrumento, en relación a las ranuras en las cuales está enrutado.

Esto puede cumplirse perforando un número diferente de pequeños agujeros en cada ranura, cerca de la parte superior del revestimiento, esto es, 1, 2, 3, ó 4, o cualquier otro sistema de marcas.

31. Mantenimiento

Se pueden presentar problemas, si ciertas precauciones y procedimientos de mantenimiento no se siguen, durante la operación en el terreno. En el sitio de trabajo, debe efectuarse una verificación visual de la condición de un anillo en O, en la conexión del cable; debe removerse cualquier restricción que obstaculice al péndulo; y los correctores deben limpiarse de polvo y secarse.

El instrumento está diseñado para operar bajo condiciones severas en el campo, pero las sacudidas pueden dañar los soportes del péndulo y traducirse por ello en datos erróneos. Esto puede suceder si se permite que la sonda golpee el fondo del hueco, o si no está asegurado el péndulo. Debe tenerse cuidado al remover la conexión del cable de la sonda, después de la operación en un revestimiento lleno de agua para evitar humedad.

La unidad de control y el carrete del cable deberán protegerse durante su almacenamiento, transporte y uso. La energía generalmente es suministrada por baterías internas, que pueden requerir reemplazo periódicamente.

Control con el sensor de tipo acelerómetro

32. El inclinómetro sensible de tipo acelerómetro, difiere un poco del instrumento típico, en que generalmente tiene un diámetro exterior más pequeño, entre los dos conjuntos de ruedas.

Separadas por una distancia, usualmente de 600 mm (24"). Cada conjunto puede consistir de 2 ruedas fijas, separadas a 90° y una rueda con resorte cargado en el lado opuesto de la sonda (135° de cualquiera de las ruedas fijas). Algunas veces, sólo una rueda fija y una rueda con resorte cargado, montadas a 180° de separación, se emplean en cada conjunto. El dispositivo de la rueda inferior está libre para rotar aproximadamente 5°, para acomodarse a las irregularidades en el revestimiento.

El ángulo de inclinación se determina a partir de una unidad de lecturas, la cual puede relacionar una función geométrica del ángulo de inclinación, a una corriente obtenida de uno o dos servo-acelerómetros en la sonda.

Se dispone de opciones para proporcionar los datos sobre cinta de papel de doble imagen, o cinta magnética adecuada para emplear con computador. Para mayores detalles, debe consultarse la literatura del fabricante.

Operación

del cable conector, después de que son ensamblados los componentes. Una calibración rápida para asegurarse de que la unidad es funcional, se completa colocando la sonda dentro del agujero en una ranura especificada; se toma la otra lectura, y se coloca luego la sonda en la ranura opuesta y se toma la lectura.

Desechando el signo, las dos lecturas deberán hallarse dentro de ± 20 unidades, del dial, una de la otra. Después de esta comprobación, se baja la sonda al fondo del agujero para comenzar las lecturas por incrementos. Mediante un interruptor en la unidad de lectura, pueden tomarse lecturas tanto en el plano que pasa a través de la rueda con resorte cargado, como en el perpendicular a ésta, reduciendo así el número de veces que el inclinómetro debe colocarse a través del revestimiento. Para reducir irregularidades, se toma una segunda serie de lecturas con la sonda rotada a 90° de la primera posición.

Mantenimiento

34. Para mantener operable la unidad, es necesario efectuar cierto mantenimiento. La conexión entre el inclinómetro y el cable eléctrico, deberá mantenerse libre de agua y polvo (al igual que todos los contactos eléctricos). Deberá verificarse regularmente la condición del anillo O en el conector, pues los revestimientos llenos con agua forman grandes cabezas de presión que actúan contra él.

Generalmente, se emplean tres fuentes de energía: batería interior, exterior, y corriente alterna. La batería interior es usualmente del tipo recargable que debe reemplazarse periódicamente.

PARTE III. MÉTODO DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Procedimiento

- **35.** Para la primera serie de lecturas se considera que usualmente el revestimiento está vertical. Todas las lecturas subsiguientes son comparadas con este conjunto inicial de lecturas.
- **36.** Todas las lecturas tomadas en el instrumento del tipo de péndulo se suponen positivas, puesto que los signos de polaridad, no están indicados en la unidad de lectura. Los signos de polaridad en el instrumento de tipo acelerómetro, son registrados y las lecturas se restan algebraicamente. Para el registro y reducción de datos es necesario referirse al manual de operación del fabricante.

El procedimiento del procesamiento de datos recomendado por muchos fabricantes, incluye una suma de lecturas en dirección opuesta, que se multiplica luego por un factor de calibración, para obtener la deflexión del revestimiento a partir de la vertical. Las lecturas subsiguientes, son comparadas con las lecturas iniciales, para obtener el cambio de inclinación a cualquier profundidad.

Ejemplo de hoja de datos

37. El ejemplo típico de una hoja de datos generalmente contiene columnas para las lecturas individuales, por la diferencia inicial, el cambio en la diferencia de lecturas subsiguientes y el cambio acumulado. Debe consultarse del manual de operación del fabricante.

Representación gráfica de los datos

38. El movimiento en el inclinómetro de taludes, es generalmente representado por un gráfico de tiempo de deflexión acumulada contra profundidad. El programa de computador, puede emplearse eficientemente para representar gráficamente la tasa, magnitud, profundidad, y dirección del movimiento, aún cuando los datos pueden fácilmente graficarse a mano. Consultar las instrucciones del manual de operación del fabricante.

CAPÍTULO SO6 MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO – CAL, CON ÉNFASIS EN LA REGIÓN CCIDENTAL O CHACO.

CAPÍTULO S0601 - RESISTENCIA DE MEZCLAS DE SUELO CAL (AASHTO T220)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión inconfinada de mezclas de suelo estabilizado con cal, donde existan suelos de dificil compactación como se encuentran en la región occidental del país.

Nota 1: Generalmente una resistencia inconfinada de 690 kPa (100 psi) es satisfactoria para la capa final en bases y es deseable que los materiales para dichas capas contengan un mínimo, del 50% retenido en el tamiz de 425 μm (No.40) antes del tratamiento. Diferentes clases de suelo pueden tratarse para subbase y, en tales casos, la resistencia mínima sugerida para la compresión inconfinada es de 345 kPa (50 psi). **(Véase norma S0707).**

EQUIPOS Y MATERIALES

Equipos

- 1. Pisón automático, que es un dispositivo de compactación con placa de base para sostener moldes de 152 mm (6") de diámetro interior, equipado con un pisón de 4,5 kg (10 lb) y una altura de caída ajustable. La caída del pisón será de 457 mm (18"), y la cara con la cual golpea será un segmento de 40°, de un círculo de 76 mm (3") de radio.

 Deberá suministrarse el pisón automático con una placa base extra para sostener el moldedurante el alistamiento de la parte superior del espécimen.
- 2. Molde de compactación con collar removible de 152 mm (6") de diámetro interior, y 215 mm (8½") de altura.
- 3. Dispositivo de medida para la altura del espécimen, consistente en un dispositivo dial micrométrico con un juego normal de bloques espaciadores.
- **4.** Balanza de 18,1 Kg. (40 lb.) de capacidad, con precisión de 0,0005 Kg. (0.001 lb.).
- **5.** Prensa hidráulica, para sacar por extrusión los especímenes del molde.
- 6. Horno para el secamiento, controlado desde 60 ± 5 °C (140 ± 9 °F) hasta 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

- **7.** Bandejas metálicas, anchas y poco profundas, para mezclar y secar materiales, y recipientes rectangulares de acero inoxidable de aproximadamente 230 x 405 x 57 mm de profundidad (9" x 16" x 2/4"), equipados con placas porosas espaciadoras.
- 8. Piedras porosas circulares ligeramente menores de 152 mm (6") de diámetro y de 51 mm (2") de altura.
- 9. Celdas axiales, constituidas por cilindros livianos de acero inoxidable de 171 mm (6 3/4") de diámetro interior y de 305 mm (12") de altura, con válvula normal de aire continua, con membrana tubular de caucho de 152 mm (6") de diámetro.
- **10.** Bomba para vacío, de 20 a35 litros por minuto, (l/min.) o aspirador.
- 11. Compresor de aire, de 4,7 a7,1 litros por segundo (l/seg) (10 a15 pies cúbicos por minuto) con tanques de almacenamiento de 227 litros (60 galones) y controles reguladores de presión (manómetros y válvulas).
- **12.** Cámara húmeda equipada con estantes y un suministro de presión constante de aire.
- **13.** Deformímetro micrométrico con dial hasta 0,02 mm (0.001") con soporte para medir la deflexión del espécimen.
- **14.** Una provisión de pesas guías para sobrecarga, de 2¼ y 4½ kg (5 y 10 lb).
- **15.** Anillos de carga calibrados u otros dispositivos para medir fuerza continua, de acuerdo con la **AASHTO T 67.** Verificación de máquinas de ensayo, excepto que se tolera un error de más o menos el 2%.
- **16.** Dispositivo de medida para la circunferencia, tal como una cinta metálica.
- **17.** Prensa y dispositivo con gato de tornillo u otra prensa adecuada para ensayo, con su dial y con dos bloques de carga.
- **18.** Tamices con aberturas cuadradas, de 75 mm (3"), 63 mm (2 ½"), 50 mm (2"), 45 mm (1 ¾"), 31,5 mm (1 ¼"), 22,4 mm (7/8"), 16 mm (5/8"), 12,5 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (№ 4), 2,00 mm (№ 10), 0,850 mm (№ 20) y 0,425 mm (№ 40).
- **19.** Pulverizador mecánico ajustable a la luz del plato de rotación.

- **20.** Agitador mecánico para tamices, un agitador mecánico de laboratorio para tamices de 0,14 litros(½ pie³) es conveniente, pero no absolutamente necesario, para separar material para volver a combinar especímenes.
- 21. Una provisión de pequeñas herramientas y accesorios tales como un mortero metálico con borde de madera, pisón metálico forrado con caucho, martillo de cuero, espátulas, cucharas, palustres, tubos de sifón, recipientes para muestras, cajas de cartón, papeles de filtro de 510 por 510 mm (20 x 20").

Materiales

- **22.** Una provisión de cal.
- **23.** Agua de buena calidad.

PREPARACIÓN DEL SUELO

- **24.** Escójase un mínimo de 91 Kg. (200 lb.) de muestra representativa para ensayo.
- **25.** Extiéndase la muestra sobre un piso seco y limpio para secarla al aire libre o mediante corrientes forzadas de aire caliente.
- 26. Los grumos o terrones duros de arcilla, en suelos que no contengan cantidades apreciables de partículas gruesas deberán triturarse de manera que pasen por el tamiz de 2,00 mm (No.10) sin romper las partículas gruesas. El resto deberá pasarse sobre el tamiz de 850 μm (No.20) y deberán determinarse los porcentajes retenidos y que pasan dicho tamiz.
- 27. Arcillas y otros suelos que contengan partículas gruesas deberán disgregarse para que pasen por el tamiz de 4,75 mm (No.4) sin romper las partículas gruesas. Podrá efectuarse esto mediante un martillo plástico, o un martillo cubierto con caucho, o por medio de herramientas manuales similares.

El material deberá separarse luego en la siguiente forma:

Materiales con partículas gruesas (piedra triturada, grava, arena y caliche), deberán tamizarse en seco sobre los siguientes tamices: 45 mm (1 3/4"), 31,5 mm (1¼"), 22,4 mm(7/8") 16 mm (5/8"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (No.4) y 2 mm (No.10), para separar los diferentes tamaños del material.

Recójase todo el material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). El material que pase el tamiz de 45 mm (1 3/4") se emplea para elaborar especímenes. Mézclese sobre el piso, todo el material menor de 2 mm (No.10) hasta que quede uniformemente mezclado con respecto al color, apariencia y contenido de humedad.

28. Pésese el material de cada fracción y calcúlense los porcentajes acumulados retenidos sobre cada tamiz y el porcentaje que pasa el tamiz de 2,00 mm (No.10). Estos valores no se emplean como datos del análisis granulométrico verdadero, sino que se usan para recombinar porciones que aseguren la gradación uniforme dentro de cada espécimen.

- 29. Sobre la base de porcentajes acumulados sobre tamices, obtenidos en el numeral 26, calcúlense y pésense 4,5 Kg. (10 lb.), de muestras representativas para un análisis granulométrico y determinación de los límites. Esta muestra de 4,5 Kg. (10 lb.) se prepara para ser ensayada por el *método S0205*. No deberá emplearse rodillos, tornos ni dispositivos que puedan alterar las partículas gruesas. Después de la preparación de la muestra mediante el método húmedo, se efectuarán los siguientes ensayos:
 - a) Análisis granulométrico.
 - b) Límite líquido.
 - c) Límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP).

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CAL

30. Entrese con el índice de plasticidad y con el porcentaje que pasa por el tamiz de 425 μm (No.40), determinado en el punto "Preparación del suelo", del suelo no tratado, en la *Figura S0601_1* y determínese el porcentaje que debe agregarse al suelo.

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO MÁXIMO Y DE LA HUMEDAD ÓPTIMA

- **31.** Determínese el porcentaje de humedad higroscópica del suelo a partir de una muestra representativa usando el *método \$0301*. Estímese el peso de material secado al aire que, cuando se humedezca y compacte, llene el molde de 152 mm (6") de diámetro interior hasta una altura de 203,2 mm (8").
 - Empleando este peso estimado y la granulometría secada al aire, calcúlense los pesos acumulados de cada tamaño para combinarlos y formar el espécimen de 152 mm (6") de diámetro y 203,2 (8") de altura. La cantidad de cal que se empleará, será el porcentaje del punto "Determinación del porcentaje de Cal", y se basa en el peso unitario seco del suelo.
- **32.** Pésese el material que se calculó en el numeral 30. Manténgase la fracción de partículas gruesas separadas de (1) el material que pasa tamiz de 2 mm (Nº 10) para bases flexibles, y (2) los terrones de arcilla y lo que pasa el tamiz de 0,85 mm (Nº 20) para materiales finos.
- **33.** Calcúlese el peso de agua que debe agregarse con base en el peso seco del suelo y pésese en un recipiente tarado.
- Para preparar la mezcla de suelo cal para el ensayo de humedad peso unitario, pésese la cal con la porción de material que pasa por el tamiz de 2,00 mm (№ 10). Humedézcase la porción mayor de 2 mm con parte o con toda la cantidad de agua pesada (dependiendo de la humedad que tenga la porción de material mayor de 2 mm; agítense y humedézcanse las partículas gruesas completamente. Déjese asentar hasta que el agua libre de la superficie haya sido absorbida.

Nota 2: En suelos arcillosos o de grano fino, sepárese el material sobre el tamiz de $850~\mu m$ (No.20). Mézclense proporcionalmente las cantidades aproximadas de cal que se van a emplear para ambas fracciones. Riéguese el agua de mezcla sobre la fracción mayor de $850~\mu m$ (No.20), empleando parte o toda la cantidad del agua requerida. Agréguese la fracción menor de $850~\mu m$ y el resto de agua si la hubiere. Mézclesecompletamente y moldéese como se indicará.

35. Vacíese el material que pasa por tamiz de 2 mm (No.10) o el de 850 μm (No.20), sobre la fracción húmeda de la muestra y distribúyase. Usando un palustre, mézclese hasta lograr uniformidad.

Cuidando de no perder material, manténgase la bandeja de mezcla cubierta, para evitar pérdida de agua por evaporación. Para conseguir una distribución uniforme e ideal en suelos arcillosos, pásese el material por un tamiz de 6,30 mm (¼ ").

36. Calcúlese y pésese el material requerido para una capa. Este deberá ser ¼ de peso de la mezcla húmeda. Colóquese esta capa en el molde usando espátulas, a mano, o con herramientas especiales, evitando la segregación de las partículas gruesas o de los finos. En materiales para bases o en otros materiales con partículas gruesas, colóquense algunos finos en exceso, en una primera capa de alrededor de 12,7 mm (0.5") de espesor, flojamente sobre el fondo de la superficie plana y empiécese luego con las partículas grandes, disminuyendo tamaños, hasta terminar con finos para asegurar una capa densa. En las capas sucesivas, se requiere un espesor suelto de finos menor que en la primera capa.

Este procedimiento asegura fondo cerrado para cada capa. Nivélese la capa a mano o con espátula y compáctese empleando un esfuerzo de compactación de 50 golpes ajustados exactamente a 457 mm (18") de caída con el martillo en 4,5 Kg. (10 lb.). Manténgase la cara del martillo limpia de material pegajoso o adherido, repítase esto hasta que las cuatro capas estén compactadas.

37. Después de que la última capa haya sido compactada, asegure el molde que contiene el espécimen, sobre la placa de base extra y alísese la parte superior por medio de herramientas manuales, tales como un cuchillo o una regla, un mazo plástico, una placa circular de acero con superficie plana pulida. Úsese un nivel de mano para comprobar que la superficie del espécimen es plana y que está a nivel con la parte superior del molde que la forma. No debe recortarse el espécimen.

Después de que la capa final haya sido compactada y de que se le haya dado el acabado manual del espécimen, deberán aplicarse los golpes (con martillos manuales), que a continuación se indican para completar el acabado.

38. Remuévase el molde de la placa de base, pésese el espécimen en el molde con precisión de 0,5 g (0.001 lbs) y mídase la altura con precisión de 0,0245 mm (0.001"). Anótense los datos.

- **39.** Céntrese cuidadosamente el espécimen sobre una piedra porosa y colóquese en la prensa para sacar por extrusión el espécimen moldeado. Empújese sobre la piedra del fondo y hacia arriba del molde.
- **40.** Colóquese el espécimen en una cazuela grande tarada, rómpase a mano el material, o empleando herramientas manuales convenientes y séquese en el horno hasta peso constante a 110 ± 5°C (230±9°C).
- 41. Si fuere necesario, ajústese el peso del material para obtener una altura de 203 mm (8") en el espécimen, varíese la cantidad de agua de moldeo y repítanse las operaciones de arriba empleando bachadas individuales para cada espécimen con el fin de obtener varios puntos para una buena curva de humedad peso unitario.

 Determínese la humedad óptima y el peso unitario máximo para la mezcla de suelo-cal.

COMPACTACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

42. Compáctense 3 especímenes de 152 mm (6") de diámetro y de 203 mm (8") de altura con el contenido de humedad óptimo y con el peso unitario hallado en el punto "Procedimiento para la determinación del peso unitario máximo y de la humedad óptima". Los especímenes de suelo tratado con cal para sub-rasante o para bases flexibles deberán compactarse en una forma tan idéntica, como sea posible. Los datos para estos especímenes así como los obtenidos en los siguientes procedimientos de ensayo deberán registrarse.

CURADO PARA LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

- **43.** Inmediatamente después de sacar por extrusión el espécimen del molde con la piedra porosa del fondo, colóquese dentro de una celda triaxial. Almacénense los especímenes a la temperatura ambiente durante 7 días.
- 44. Después del curado húmedo, retírense las celdas y colóquense los especímenes en un secador de aire a una temperatura que no exceda de 60°C (140°F) por aproximadamente 6 horas o hasta que 1/6 de la humedad de moldeo haya sido removida. Todos los suelos tratados con cal se secan de esta forma, aún cuando ocurra un considerable agrietamiento. Déjense enfriar las muestras por lo menos durante 8 horas antes de continuar con el ensayo.
- **45.** Pésense y mídanse los especímenes y sométanse a capilaridad durante 10 días mediante el método que se describe a continuación.

SOMETIMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO A CAPILARIDAD

46. Los especimenes son sometidos a capilaridad durante 10 días en la siguiente forma:

- 47. No deben removerse las piedras porosas de los especímenes hasta después de que éstos hayan sido ensayados. Córtese una pieza de papel de filtro, de 250 por 500 mm (10 x 20") de tamaño, dóblese hasta 125 por 500 mm (5 x 20") y efectúense algunos cortes con tijeras (a la manera de una calabaza cortada que remede una cabeza). Estos cortes evitarán cualquier restricción por medio del papel. Envuélvase el papel de filtro alrededor del espécimen y de las piedras y asegúrese con una pequeña pieza de cinta de celofán. Reinstálese la celda triaxial.
- 48. Colóquense los especímenes dentro de las bandejas rectangulares proporcionadas para absorción capilar y ajústese el nivel del agua sobre las piedras porosas hasta una altura de 12,7 mm (½") por debajo de fondo de los especímenes.
- **49.** Conéctese cada celda a la fuente de aire y ábrase la válvula para aplicar una presión lateral constante de 6,89 kPa (1 psi). Manténgase constante esta presión durante el período de absorción.
- Colóquese una sobrecarga de control adecuada (la cual dependerá del uso propuesto o de la ubicación del material en la carretera), sobre la piedra porosa superior. Para bases flexibles empléese 35,2 kg/cm² (½ lb/pulgada²) y para sub-rasantes empléese 70,2065 kg/cm² (1 lb/pulgada²) del área del extremo del espécimen. Considérese el peso de la piedra porosa superior como parte del peso de sobrecarga.

PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES PARA ENSAYO

- **51.** Los especímenes que se someten a 10 días de capilaridad deberán prepararse en la siguiente forma:
 - a) Desconéctese la manguera de aire de la celda, remuévase el peso de sobrecarga y devuélvanse los especímenes al laboratorio para ensayo.
 - b) Úsese un vacío y desínflese la membrana de caucho para ayudar a la remoción de la celda de los especímenes y deséchese el papel de filtro. Si alguna cantidad de material apreciable seadhiere al papel, presiónese cuidadosamente éste dentro de los huecos disponibles a lo largo de los lados del espécimen.
 - c) Pésense los especímenes y anótense sus pesos totales después de la absorción por capilaridad.
 Nótese que el peso húmedo de las piedras se obtiene después de que los
 - Notese que el peso húmedo de las piedras se obtiene después de que los especímenes sean ensayados.
 - d) Mídase la circunferencia de cada espécimen por medio de una cinta metálica. Mídase la altura del espécimen incluyendo las piedras, y anótense en el formato, como altura sobre las piedras.

Regístrese el peso de cada piedra.

52. Especímenes que se mantengan durante la noche en celdas, deberán prepararse de la siguiente forma:

- a) Empléese un vacío y desínflese la membrana de caucho para ayudar a la remoción de la celda de los especímenes. Cualquier material que cuelgue de la membrana presiónese hacia atrás dentro de los huecos disponibles laterales y guárdese para colocarlo en el espécimen cuando esté seco.
- b) Mídase el espécimen como en el primer párrafo y reemplácese la celda.

ENSAYE DE ESPECÍMENES

- 53. En resumen, los especímenes son ensayados a compresión mientras están sometidos a la presión lateral constante asignada. La prensa motorizada se gradúa para que tenga un recorrido a una tasa de 3,3 a3,8 mm (0.13 a 015") por minuto. Deberán tomarse lecturas simultáneas de carga y deformación a intervalos de deformación de 0,25 mm (0.01"), hasta que falle la muestra.
- 54. Se libera el mecanismo de transmisión de la prensa y se baja el émbolo suficientemente para permitir la colocación del espécimen, los bloques metálicos de carga y el dial del deformímetro.
- 55. Céntrese el espécimen con los bloques metálicos de carga en la parte superior e inferior de la prensa. Ajústese el deformímetro de tal manera que se apoye contra el centro del bloque espaciador superior y comprimiéndolo casi toda la longitud del recorrido del vástago. El deformímetro debe colocarse en esta posición puesto que el espécimen se mueve hacia afuera durante la compresión. Colóquese el dial del deformímetro en cero.
- 56. Colóquese la carcaza acampanada sobre el medidor de deformación y ajústese de tal manera que no toque el medidor ni sus soportes. Debe notarse en este punto que el esfuerzo de compresión necesariamente será aplicado en dirección de una línea vertical a través del centro de la bola que se monta en la parte superior de la carcaza acampanada. Ya que es deseable aplicar la fuerza de compresión a lo largo del eje vertical del espécimen de ensayo, desvíese lateralmente la carcaza acampanada, para llevar directamente la bola sobre el eje del espécimen. Levántese la prensa por medio del motor, alinéese y asiéntese la bola colocada sobre la carcaza acampanada dentro de la cuenca del anillo de carga. Luego, aplíquese suficiente presión para obtener una lectura perceptible sobre el manómetro del anillo de carga. Léase el deformímetro y anótese esa lectura, como deformación bajo carga muerta.
- **57.** Conéctese la línea de aire a la celda axial y aplíquese presión lateral al espécimen. Las presiones laterales empleadas para una serie de ensayos son 0, 21, 34, 69, 103 y 138 kPa (0, 3, 5, 10, 15 y 20 psi). En los casos en los cuales la carga o el esfuerzo sean tan altos como de 1,207 a 1,241 kPa (175 a 180 psi) para los especímenes ensayados a presiones laterales de 104 kPa (15 psi), empléense 48 kPa (7 psi) en lugar de 138 kPa (20 psi) para el último espécimen. La presión lateral aplicada mediante aire tenderá a cambiar la lectura inicial del deformímetro.

A medida que se ajuste la presión del aire, iníciese momentáneamente el motor para comprimir el espécimen hasta que el deformímetro lea lo mismo que se anotó según el numeral 54. Léase el manómetro del anillo de carga y anótese este valor en la columna de carga, enfrentado a la lectura de deformación inicial.

- Acciónese el motor y léase la lectura del anillo de carga cada 0,25 mm (0.01") de deformación del espécimen. Continúese hasta que se hayan tomado un mínimo de 60 lecturas, a menos que antes ocurra la falla. La falla se produce cuando la lectura del anillo de carga permanece constante o cuando disminuye con incrementos posteriores de deformación. Al ensayar especímenes con partículas gruesas, el deslizamiento y corte de las partículas gruesas ocasionará disminuciones temporales en las lecturas del anillo de carga. El ensayo deberá continuarse hasta que se haya alcanzado la falla verdadera. Después de 60 lecturas, la sección transversal del espécimen se ha aumentado de tal manera que un incremento pequeño subsiguiente de la lectura de carga, es poco mayor que el incremento en la tensión de la membrana que actúa como presión lateral.
- Todos los procedimientos descritos arriba se aplican al espécimen inconfinado, excepto que no se usa aire ni celda axial. Para materiales que contienen una gran cantidad de partículas gruesas, compáctense y ensáyense dos especímenes con una presión lateral de cero (0). Empléese el promedio de los resultados de los ensayos, a menos que aparezcan piedras grandes que hayan creado puntos de apoyo; en este caso úsese el valor más alto.

CÁLCULOS

60. Obtención del peso seco de especímenes y piedras.

El espécimen y las piedras porosas se retiran de la celda sobre una bandeja tarada para secado. Empléese una espátula para limpiar el material del interior de la celda y de las piedras porosas. Rómpase el espécimen en la bandeja para secar teniendo cuidado de no perder nada del material y colóquesele una tarjeta de identificación.

Séquese el material hasta peso constante a una temperatura de 110 \pm 5°C (230 \pm 9°F) y determínese el peso seco.

Cuando los especímenes hayan sido sometidos durante la noche a capilaridad, pésense las piedras húmedas, séquense a 60°C (140°F) hasta peso constante y anótense dichos pesos.

61. Calcúlese el volumen en metros cúbicos (pies cúbicos) para una altura de 25,4 mm (1") de molde, en la siguiente forma:

$$V = \frac{\text{Area del moldeen } mm^2 \text{ (pulgada}^2\text{) x 25.4 mm (lpulgada)}}{1000 \text{ (1728)}}$$

- **62.** Calcúlese el volumen de los especímenes como fueron moldeados, multiplicando el valor obtenido en el párrafo anterior por la altura del espécimen.
- **63.** Calcúlese el peso unitario seco en la siguiente forma:

Peso unitario seco =
$$\frac{Peso seco del especimen}{Volumen del especimen}$$

64. Calcúlese el esfuerzo de compactación para una capa de 50,8 mm (2") expresada en N-m (lb-pie/pie³).

Multiplíquese por 1728 para obtenerlo en lb.-pie/pie³

65. Calcúlese el porcentaje de humedad de moldeo en la siguiente forma:

66. Calcúlese el porcentaje de humedad después de que los especímenes han sido sometidos a capilaridad empleando la fórmula:

$$Rc = \frac{Wa - Wb - Wd}{Wd} \times 100$$

Donde

Wa = Peso húmedo del espécimen y de las piedras después de la capilaridad.

Wb = Peso húmedo de las piedras.

Wd = Peso seco del espécimen.

67. Calcúlense los valores de esfuerzos y deformaciones para cada espécimen individual a partir de las relaciones siguientes:

$$S = \frac{d}{b} \times 100$$

Donde

S = Porcentaje de deformación.

d = Deformación vertical total en el instante dado.

h = Altura del espécimen medido después de que éste se ha removido de la capilaridad.

$$p = \frac{P}{A} \times 1 - \frac{S}{100}$$

p =Esfuerzo vertical unitario corregido. Se hace necesaria la corrección a causa de que elárea de la sección transversal aumenta a medida de que el espécimen se reduce en altura. El supuesto hecho es que el espécimen se deforma a un volumen constante.

P = Carga vertical total sobre el espécimen para una deformación dada. Es igual a la suma de la carga aplicada medida por el anillo de carga, más el peso muerto de la piedra porosa superior, el bloque de carga y la carcaza del dial.

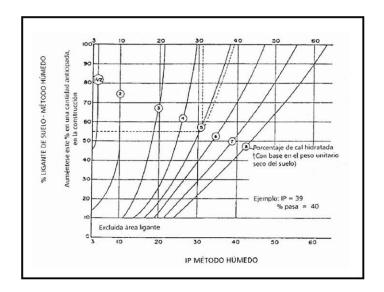
A = Área extrema del espécimen cilíndrico al comienzo del ensayo.

68. Dibújese una curva de humedad peso unitario.

INFORME

69. Infórmense los valores de la resistencia a la compresión inconfinada, el peso unitario, la humedad, y contenido de cal.

Empléese el promedio de los valores de los tres especímenes de ensayo, cuando se reportan los resultados del ensayo de compresión inconfinada.



IGURA S0601_1CANTIDADES DE CAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTES Y BASES

CAPÍTULO S0602. DETERMINACIÓN POR TITULACIÓN DEL CONTENIDO DE CAL EN SUELOS TRATADOS CON CAL (AASHTO T232)

OBJETO

En esta norma se describe un método de ensayo para determinar el porcentaje de cal en suelos o áridos que han sido tratados con cal hidratada. Se basa en la neutralización continua de una solución acuosa, a partir de un espécimen tratado con cal por un tiempo especificado. Esto se logra añadiendo la cantidad de ácido apenas suficiente para neutralizar la cal, la cual está siendo continuamente disuelta durante el ensayo. La cantidad de ácido usada es directamente proporcional al contenido de cal del espécimen.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **1.** Bureta de titulación de 100 ml, u otro dispositivo que permita, la adición lenta y fácilmente controlada del ácido, con soporte y abrazadera.
- 2. Diez (10) recipientes de polietileno, de boca ancha, de 1,9 litros de capacidad (2 cuartos). (Blancos)
- 3. Dos garrafones plásticos, de 18,9 litros de capacidad (5 galones), equipados con sifones, tubería de neopreno, abrazaderas para mangueras, etc., para suministrar la solución ácida de trabajo y el agua.
- **4.** Botella gotero de vidrio (o plástica).
- **5.** Cuatro varillas agitadoras, de acero inoxidable o de otro material adecuado.
- **6.** Tamices de 37,5 mm $(1\frac{1}{2})$ y 9,5 mm (3/8).

Nota 1: A pesar de que los tamices colocados en los marcos de 203 mm (8") son satisfactorios, un tamiz de 9,5 mm (3/8") colocado en un marco de 305 mm (12") puede ser más adecuado para separar la muestra de campo. (Véanse numerales 18 y 35).

- **7.** Balanzas, una con capacidad de 5 Kg. y precisión de 1 g y otra con capacidad de 2 kg y precisión de 0,1 g.
- 8. Cuatro recipientes de plástico que tengan una capacidad mínima de 500 ml.
- **9.** Un recipiente de vidrio de 200 ml.
- **10.** Cuatro probetas graduadas de 50 ml.
- **11.** Luz fluorescente, proporcionada con un tubo de 915 mm (36") de largo, o por dos de 457 mm (18") de largo.

Reactivos

12. Acido clorhídrico (HCl) (aproximadamente 3N)

Viértanse lentamente los contenidos de 2 botellas estándar de 6 lb de ácido clorhídrico (HCI) concentrado y certificado, en uno de los garrafones de 5 galones, y dilúyanse hasta 5 galones con agua potable.

Solución indicadora de fenolftaleína (solución al 1%)

- 13. Disuélvanse 5 g de fenolftaleína (U.S.P.) en 250 ml de alcohol etílico al 95%. Dilúyase con 250 ml de agua destilada.
- Solución NP-10 14. Mézclense 0,5 g de polvo "Separan" NP-10 (producto de fabrica de la Dow Chemical Company), con 100 ml de agua destilada en un beaker de vidrio. Agítese frecuentemente y permítase reposar hasta que no se vean precipitados. Prepárese una solución fresca cada semana.

MATERIALES PARA LOS ESPECÍMENESDE CALIBRACIÓN

- 15. Deberán ensayarse dos especímenes con un contenido de cal 1% menor que el proyectado, y dos especímenes con un contenido de cal 1% mayor que el proyectado; los datos se usarán en la preparación de una curva de calibración de la titulación de la cal. En la preparación de los especímenesde calibración deberán utilizarse los mismos áridos, cal y agua que van a ser usados en el proyecto. La humedad de los especímenes deberá ser representativa de la que será usada para el material tratado con cal en el proyecto.
- 16. De la Tabla S0602_1, selecciónese el peso de agregado que corresponde al contenido de cal y a la humedad apropiada. Este será el peso del agregado seco no tratado requerido para preparar los especímenes de calibración de 300 gramos. Si la muestra de agregado no tratado contiene inicialmente agua, ajústese el peso del agregado húmedo para que proporcione el peso correcto del material seco. En consecuencia, se hace también una corrección al agua que se mide según el numeral 20, debido a la cantidad de agua que contiene el agregado húmedo.

TABLA S0602_ CANTIDAD DE MATERIAL PARA LAS ESPECIFICACIONES DE ALIBRACIÓN SEGÚN EL PORCENTAJE DE CAL

Humedad	Aguamil	1% Cal		2% Cal		3% Cal		4% Cal		5% Cal		6% Cal		7% Cal	
%		Agreg.	Calg												
		Peso		Peso		Peso		Peso		Peso		Peso		Peso	
		Seco g		Seco g		Seco g		Seco g		Seco g		Seco g		Seco g	
5	14	283	2,8	280	5,6	278	8,3	275	11	272	13,6	270	16,2	267	18,7
6	17	280	2,8	277	5,5	272	8,2	272	10,9	270	13,5	267	16	264	18,5
7	20	277	2,8	275	5,5	270	8,2	269	10,8	267	13,4	264	15,9	262	18,3
8	22	275	2,8	272	5,5	269	8,1	267	10,7	265	13,2	262	15,7	260	18,2
9	25	272	2,7	270	5,4	267	8	264	10,6	262	13,1	259	15,6	257	18
10	27	270	2,7	268	5,4	265	8	262	10,5	260	13	258	15,5	255	17,9
11	30	268	2,7	265	5,3	262	7,9	260	10,4	257	12,9	255	15,3	252	17,7
12	32	265	2,7	263	5,3	260	7,8	258	10,3	255	12,8	253	15,2	250	17,5
13	34	262	2,6	260	5,2	257	7,7	255	10,2	252	12,6	250	15	248	17,3
14	37	260	2,6	258	5,2	255	7,7	253	10,1	250	12,5	248	14,9	246	17,2
15	39	258	2,6	256	5,1	253	7,6	251	10	249	12,4	246	14,8	244	17,1
16	41	256	2,6	254	5,1	251	7,5	249	10	247	12,3	244	14,6	242	16,9
17	44	253	2,5	251	5	249	7,5	246	9,9	244	12,2	242	14,5	239	16,7
18	46	252	2,5	249	5	247	7,4	244	9,8	242	12,1	240	14,4	238	16,6
19	48	250	2,5	247	4,9	245	7,3	242	9,7	240	12	238	14,3	236	16,5
20	50	248	2,5	245	4,9	243	7,3	240	9,6	238	11,9	236	14,2	234	16,4
21	52	246	2,5	243	4,9	241	7,2	238	9,5	236	11,8	234	14	232	16,2
22	54	244	2,4	241	4,8	239	7,2	236	9,4	234	11,7	232	13,9	230	16,1
23	56	242	2,4	239	4,8	237	7,1	235	9,4	232	11,6	230	13,8	228	16
24	58	240	2,4	237	4,7	235	7,1	233	9,3	230	11,5	228	13,7	226	15,8
25	60	238	2,4	235	4,7	234	7	231	9,2	229	11,4	226	13,6	224	15,7
26	62	236	2,4	233	4,7	231	6,9	229	9,2	227	11,4	225	13,5	222	15,6
27	64	234	2.3	231	4,6	229	6,9	229	9,1	225	11,3	223	13,4	221	15,5
28	66	232	2,3	229	4,6	227	6,8	225	9	223	11,2	221	13,3	219	15,3
29	68	231	2,3	228	4.6	226	6,8	224	9	222	11,1	220	13,2	218	15,3
30	69	229	2,3	226	4,5	224	6,7	222	8,9	220	11	218	13,1	216	15,1
31	71	227	2,3	225	4,5	222	6,7	220	8,8	218	10,9	216	13	214	15
32	73	225	2,3	223	4,5	220	6,6	218	8,7	216	10,8	214	12,8	212	14,8
33	75	224	2,2	222	4,4	219	6,6	217	8,7	215	18,8	213	12,8	211	14,8
34	76	222	2,2	220	4,4	217	6,5	215	8,6	213	18,7	211	12,7	209	14,6
35	78	220	2,2	218	4,4	216	6,5	213	8,5	211	18,6	209	12,5	207	14,5

- 17. De los registros del proyecto, determínense los porcentajes promedio de agregado no tratado, que pasa el tamiz de 37,5 mm (1 ½") y que es retenido en el tamiz de 9,5 mm (3/8"). Estos porcentajes serán usados para proporcionar los especímenes de calibración.
- 18. Remuévase y descártese cualquier agregado en la muestra del material no tratado, que sea retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½") y sepárese la fracción de muestra retenida en el tamiz de 9,5 mm (3/8"). Recombínese para lograr el peso de agregado, de los especímenes de calibración duplicados, encontrado en el numeral 16, teniendo en cuenta las proporciones halladas en el numeral 17 del material separado por el tamiz de 9,5 mm (3/8").
- **19.** Selecciónese la cantidad requerida de cal a partir de la Tabla S0602_1 y pésese con precisión de 0,5 g.
- **20.** Mídase en una probeta graduada de vidrio la cantidad requerida de agua (corregida como se indica en el numeral 16) en ml, dada en la Tabla S0602_1.

CURVA DE CALIBRACIÓN

21. Cada operador de ensayo deberá establecer dos curvas de calibración, al menos una vez por día: una para un tiempo de curado de 4 o 5 horas, para usarla en las muestras de campo que son mezcladas completamente y curadas durante el mismo día; y otra para un tiempo de curado de 24 horas, para usarla en las muestras de campo que son ensayadas al día siguiente de ser mezcladas.

Si hay algún cambio en los contenidos de ácido, cal, agregado o agua, deberán establecerse nuevas curvas después de dicho cambio.

Nota 2: Se necesitarán menos correcciones y los resultados serán más precisos, si se utilizan tiempos de curado similares para los ensayos de calibración y para los ensayos en las muestras de campo.

Nota 3: Se establecerá una nueva curva de calibración cuando se prepare una nueva bachada de solución de ácido diluido y cuando la fuente de agregado o de agua sea cambiada. La curva de calibración para cada tiempo de curado deberá ser verificada cuando se sospeche un cambio en las características del espécimen de agregado o del agua de la misma fuente.

- Para cada espécimen, viértase el agregado pesado y la cal hallados en los numerales 18, y 19 respectivamente, en un recipiente plástico de 1,9 l (2 cuartos de galón) y mézclese cuidadosamente con la varilla agitadora.
- 23. Adiciónese la cantidad de agua medida en el numeral 20 y mézclese completamente. El momento en el cual el agua es añadida, se considera como el comienzo del período de curado.
- 24. Colóquense los recipientes de 1,9 l (2 cuartos de galón) en fila sobre la mesa que es usada para el ensayo; déjense así las muestras sin tapar y permitiendo el curado durante los tiempos dados en el numeral 21.
- 25. Justo antes de que se termine el tiempo de curado establecido, prepárese la solución NP-10 como sigue: detrás de cada espécimen de ensayo, colóquese un beaker plástico en el cual se han vertido 200 ml de agua potable y 50 ml de solución NP-10; también para cada espécimen de ensayo, pésese la probeta graduada, adiciónense a ella 50 ml de solución NP-10 pesada con precisión de 0,1 g y anótese el peso total.
- **26.** Al final del período del curado, el ensayo de neutralización constante se desarrolla como sigue:
 - a) Póngase a funcionar el cronómetro y añádase la solución de agua con NP-10 mezclados, al primer espécimen. Añádase el líquido a los siguientes especímenes, en forma sucesiva, a intervalos de 2 minutos.

- Añádase a cada recipiente una cantidad correspondiente a aproximadamente 40 gotas de solución de fenolftaleína. El agua generalmente se torna roja debido a la presencia de la cal.
- c) Pésese cada recipiente plástico con su contenido con precisión de 0,1 g.
- d) Colóquese la luz fluorescente detrás de los recipientes plásticos.
- e) A los 8 minutos después de la adición de la solución de agua con NP-10 al primer espécimen, comiéncese a añadir el HCl (3N) a ese espécimen, contenido que ha sido medido en una bureta, mientras que se agita en forma continua. Se deberá añadir apenas suficiente ácido para causar que el color rojo desaparezca.
- f) En forma similar, añádase ácido a los especímenes siguientes a intervalos de 2 minutos; esto es, a lecturas de cronómetro de 10, 12 y 14 minutos para el segundo, tercero y cuarto espécimen, respectivamente, o de igual manera para la serie de especímenes de ensayo utilizada.
- g) Cuando comience a reaparecer el color rojo, después de la introducción inicial del ácido, úsese la probeta para hacer una segunda adición del ácido, en la cantidad (ml) necesaria para causar de nuevo que el color apenas desaparezca.

Se harán subsecuentemente cuantas adiciones de ácido sean necesarias para causar que el color apenas desaparezca.

Nota 4: Precaución.- Agítese en forma lenta. La agitación vigorosa en este momento puede causar que las partículas floculadas se dispersen, haciendo difícil ver el punto final de la adición del ácido.

- h) Adicionalmente a la agitación hecha durante cada introducción del ácido, deberá agitarse cerca de 3 segundos por cada minuto y aproximadamente 6 segundos por cada 5 minutos, así sea que aparezca color o no. El patrón de agitación deberá componerse de movimientos circulares y de zig zag a través del fondo del recipiente plástico. Procúrese evitar la posibilidad de dejar cualquier depósito de cal no neutralizado, en el centro del recipiente.
- i) Una vez transcurridos 25 minutos después de la adición de la cantidad inicial de solución de agua con NP-10 a la primera muestra, agítese la muestra vigorosamente, añádanse los 50 ml restantes de la solución NP-10, (véase el numeral 25) y continúese el ensayo. Repítase este procedimiento con cada uno de los especímenes, dejando un intervalo de tiempo de 2 minutos entre cada dos especímenes. Esto requerirá lecturas de cronómetro de 27, 29 y 31 minutos, respectivamente, para el segundo, tercero y cuatro espécimen de la serie.
- j) Continúese el procedimiento de adición de ácido y de agitación hasta que hayan pasado 38 minutos desde la adición inicial de solución de agua con NP-10 al primer espécimen. Luego, vuélvase a pesar el recipiente plástico y sus contenidos con precisión de 0,1 g. Repítase este procedimiento con cada uno de los especímenes, permitiendo un intervalo de tiempo de 2 minutos entre cada dos especímenes. Esto requerirá lecturas de tiempo de 40, 42 y 44 minutos, respectivamente, para el segundo, tercero y cuarto espécimen de la serie.
- k) Usando la diferencia entre peso inicial (sección 26.c-)) más el peso adicional de NP-10 (determinado en el numeral 25) y los pesos finales de ensayo (determinados en la sección 26.i-)), calcúlese y regístrese el peso total de ácido

clorhídrico usado para neutralizar la solución; luego determínese el peso promedio de ácido clorhídrico usado para cada par de especímenes de ensayo.

27. Hágase un gráfico del peso promedio de ácido clorhídrico usado (sección 26.j-) contra el porcentaje del mismo, usado en los especímenes pareados. Dibújese una línea recta entre los dos puntos. Esta es la curva de calibración para determinar el contenido de cal de un espécimen tratado con cal, mezclado en el campo.

CURVA DE CORRECCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO

- **28.** Puesto que será normalmente imposible seleccionar muestras tratadas con cal del proyecto de campo, que han sido curadas durante el mismo tiempo que los especímenes usados en la preparación de la curva de calibración, será necesario preparar una curva de corrección del curado.
- 29. Usando agregado, cal y agua reales del proyecto, prepárense 10 especímenes con el contenido de cal proyectado. La preparación de las cantidades requeridas de materiales, deberá hacerse como en el punto "Materiales para los especimenes de calibración" y la mezcla deberá hacerse en la misma forma como se describió en los numerales 22 y 23.
- **30.** Ensáyense los especímenes pareados para tiempos de curado aproximados de 1, 3, 7, 24 y 48 horas, para establecer una curva de tiempo de curado. Déjense las muestras sin cubrir durante el período de curado.

Nota 5: El ensayo es muy sensible al tiempo de curado durante la primera hora después de la operación del mezclado. Por esto, es aconsejable no efectuar el primer ensayo hasta que haya pasado por lo menos una hora después de la operación de mezclado.

- **31.** Al final de cada uno de los tiempos de curado dados en el numeral 30, efectúese el ensayo de neutralización constante sobre dos de los especímenes, usando el procedimiento descrito en el numeral 26.
- **32.** Grafíquese el peso en g de HCl usado contra el tiempo de curado, para establecer la curva de corrección.

Nota 6: La curva de corrección de tiempo de curado necesita ser establecida solamente una vez para un proyecto, a menos que exista algún cambio en la fuente de los áridos ó de la cal.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LAS MUESTRAS DE CAMPO

- **33.** Extráigase de una a cuatro muestras de campo del agregado tratado con cal, cada muestra pesando aproximadamente 3.000 g. Pésese la muestra con precisión de 1,0 g.
- **34.** Remuévase y descártese cualquier agregado retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½").

- 35. Sepárese la muestra retenida en el tamiz de 9,5 mm (3/8") y determínese la proporción retenida y pasante del tamiz de 9,5 mm (3/8") con base en el peso de la muestra total, incluyendo el material retenido en el tamiz de 37,5 mm (1½").
- **36.** Prepárense especímenes de ensayo de 300 g en las mismas proporciones de material retenido y pasante del tamiz de 9,5 mm (3/8") contenidos en la muestra original de 3.000 g. El material retenido en el tamiz de 37,5 mm (1½") será representado por una cantidad similar de material que pasa por dicho tamiz y que queda retenido en el tamiz de 9,5 mm (3/8").
- **37.** Efectúese el ensayo de neutralización constante observado en el numeral 26.
- 38. Determínese el factor de corrección en gramos de ácido entre el tiempo de curado para la calibración y el de las muestras de campo, a partir de la curva de corrección del tiempo de curado. Aplíquese un factor de corrección de suma si el tiempo de curado de la muestra de campo es superior a la del tiempo de curado de la muestra de calibración. Aplíquese un factor de corrección de sustracción si el tiempo de curado de la muestra de campo es inferior al tiempo de curado de las muestras de calibración.

Nota 7: El tiempo de curado de una muestra de campo comienza por el tiempo de mezclado, incluye el tiempo requerido para tomar la muestra de la mezcla, para transportar la muestra al sitio de ensayo y para preparar los especímenes de 300 g.

- **39.** Aplíquese el factor de corrección a los gramos de HCl requeridos para la neutralización. (*Véase numeral 26.j-).*
- **40.** Determínese, a partir de la curva de calibración, el porcentaje de cal.

CÁLCULOS

- **41.** Supónganse los datos siguientes:
 - -La curva de corrección del tiempo de curado fue establecida usando el contenido de cal proyectado.
 - -La curva de calibración fue establecida con un tiempo de curado de 16 horas.
 - -La muestra de campo tuvo un tiempo de curado de 20 horas.
 - -La titulación de la muestra de campo requirió 48,8 g de ácido.
- **42.** Dibújese el tiempo de curado para la calibración y la muestra de ensayo contra la curva de corrección del tiempo de curado. Aplíquese esta corrección a los gramos de ácido requeridos para titular la muestra de campo (48 + 2,0 = 50,0 g de ácido). Éntrese con los 50,0 g de ácido a la curva de calibración. Entonces el contenido de cal calculado es 4,0%.

PRECAUCIONES

- **43.** Este ensayo no deberá ser llevado a cabo por personas que tengan problemas con la diferenciación de los colores.
- **44.** Es muy importante que el operador esté atento a mantener una solución neutral, añadiendo repetidamente ácido tan pronto como el color rosado vuelva a aparecer.
- **45.** Úsese solamente la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) apenas necesaria para eliminar el color rojo.
 - Un exceso de ácido puede atacar los áridos, particularmente en las últimas fases, cuando la cantidad de cal remanente en la mezcla es baja.
- **46.** Este ensayo no deberá ser llevado a cabo bajo la acción del sol o en cualquier lugar donde se encuentre una corriente de aire sobre los recipientes. La cantidad de evaporación causada por la exposición a corrientes de aire o a la luz solar puede afectar los datos del ensayo.
- 47. Los garrafones plásticos descritos en el equipo del ensayo no deberán ser sustituidos por garrafones de vidrio y los recipientes que tienen las soluciones de los ácidos deberán ser etiquetados en forma clara.
- **48.** Téngase extremo cuidado en el manejo de las soluciones concentradas de ácido y también en las soluciones diluidas, ya que pueden ser dañinas para los ojos, piel o para la ropa. Si alguno de estos químicos se derrama sobre los ojos, sobre la piel o sobre la ropa, aplíquese agua en cantidad abundante sobre las áreas afectadas.
- **49.** Cuando se manejen ácidos, el personal debe utilizar guantes protectores, delantales y anteojos.
- **50.** Se conoce que la fenolftaleína puede causar síntomas de alergia y que tiene un efecto laxante poderoso. Puede ser tóxica. La persona expuesta que sea sensible a ella, deberá vestir ropa adecuada, si es necesario, para evitar el contacto corporal. Este producto no debe ser ingerido.

CAPÍTULO S0603.

CONTENIDO DE CAL EN MEZCLAS SUELO-CAL NO CURADAS (ASTM D3155)

OBJETO

Este método cubre la determinación del contenido de cal en mezclas de suelo-cal muestreadas de una obra en construcción.

SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo sirve para definir contenidos de cal en obra, chequear el cumplimiento de requisitos especificados y la eficiencia del control de calidad aplicado.

También sirve para que los productores de mezclas de suelo cal lo usen, en la determinación del contenido de cal, con el propósito de controlar la producción.

EQUIPOS

- 1. Balanza
 - Que tenga capacidad de 1000 g o más y una precisión de 0,05 g o menos.
- **2.** Elementos de cristal.

Un cilindro graduado de 25 ml, y uno un matraz Erlenmeyer de 250 ml y goteros medicinales.

- 3. Elementos plásticos
 - Un recipiente de 1,9 l de polietileno con tapa a presión; un embudo plástico de 300 mm (12") de diámetro; botellones de 19 l (5 galones) de polietileno para cloruro de amonio y agua destilada o desmineralizada.
- **4.** Soporte para bureta

Para sostener buretas de 25 ml.

- **5.** Siete (7) Agitador(es)
 - Puede ser magnético o cualquier otro aparato equivalente.
- **6.** Barra agitadora.

De acero inoxidable, con 300 mm (12") de longitud.

- 7. Indicador de pH
 - Suministro de papel indicador de pH o un pH-metro con un campo de aplicación entre valores 10 y 14.
- 8. Diez (10) Tamiz.

De 4,75 mm (No.4).

Reactivos

9. Solución de Cloruro de Amonio, 100 g/l.

Se deposita en un botellón plástico 1893 g de cloruro de amonio granular (NH_4CI) y se disuelve en cerca de 7,5 a11,4 l de agua desmineralizada, para hacer 18,9 l. Se procede a mezclarlos bien.

10. Solución EDTA (0,1 M).

Disuélvanse 74,45 g de polvo de un reactivo de grado disódico (dimitriletileno) tetracetato bihidratado ($Na_2C_{10}H_{14}N_2O_8.2H_2O$), en cerca de 1 l de agua destilada o desmineralizada tibia

en un vaso. Enfríese a la temperatura ambiente, transfiérase cuantitativamente en volumen a un matraz de 2I, y llénese hasta la marca con agua desmineralizada o destilada. Almacénese en una botella de polietileno.

11. Solución de hidróxido de sodio, 500 g/l.

Con agitación permanente, añádanse cuidadosamente 500 g de gránulos de hidróxido de sodio reactivo (NaOH), a 600 ml de agua destilada o desmineralizada, hasta su disolución y déjese enfriar a temperatura ambiente. Dilúyase hasta un litro con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella plástica. Dilúyase para su uso en proporción 1 + 1, en agua destilada o desmineralizada.

12. Solución de Triaminoetanol, 200 g/l.

Disuélvanse 100 ml de triaminoetanol reactivo (HOCH2CH2)3N en 200 o 300 ml de agua desmineralizada y destilada en un vaso, dilúyase hasta 500 ml en un cilindro graduado, mézclese bien y almacénese en una botella plástica.

13. Polvo indicador azul de hidróxido de naftol.

- **14.** Del suelo y la cal utilizados en la construcción, prepárense tres series de muestras duplicadas la humedad de diseño y que contengan las siguientes cantidades de cal:
 - -Serie 1: con el 75% del contenido de cal de diseño.
 - -Serie 2: con el 100% del contenido de cal de diseño
 - -Serie 3: con el 125% del contenido de cal de diseño.
- **15. Para** cada una de ellas, calcúlense las cantidades de suelo, cal y agua como sigue:

$$W_{s} = 5/(1 + M/100)(1 + L/100)$$

$$W_{r} = (R/100) \times W_{s}$$

$$W_{f} = W_{s} - W_{r}$$

$$W_{l} = (L/100) \times W_{s}$$

$$V_{w} = M/100(W_{s} - W_{s})$$

Donde:

Ws = Peso seco total de suelo, en g.

Wr = Peso del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), en g.

Wf = Peso del material pasante por el tamiz de 4,75 mm (No. 4).

We = Peso de cal, en g.

Vw = Volumen de agua en ml.

M = Humedad de diseño, % del peso seco del suelo.

- L = Contenido de cal, % del peso seco del suelo.
- R = % de suelo retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4).
- S = Peso de la muestra; 300 g cuando el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4);700 g cuando parte del suelo es retenido en dicho tamiz.
- **16.** Mézclese el suelo y la cal fuertemente hasta obtener un color uniforme. Añádase el agua y mézclese hasta uniformar la humedad.
- Para suelos con 100% pasante por el tamiz de 4,75 mm (No. 4), titúlese cada muestra de 300 g, como se describe más adelante. Después de trituradas las seis muestras, dibújese un gráfico que muestre ml de solución EDTA versus porcentaje en peso de cal, usando las cifras promedio de las series 1, 2 y 3.
- 18. Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), tamícese fuertemente cada muestra de 700 g sobre dicho tamiz, hasta que el material retenido esté limpio de partículas más pequeñas adheridas. Mézclese el material pasante y pésense porciones de 300 g, las cuales se titularán como se describirá. Después de titular las seis muestras, dibújese un gráfico que muestre ml de solución EDTA, usando las cifras promedio de las series 1, 2 y 3, versus gramos de cal, WI300, que se calcula así:

$$W_{1300} = [300/(700 - W_r)] x W_e$$

ENSAYO DE MUESTRAS

- **19.** Durante la construcción, tómense muestras representativas de la mezcla de suelo-cal. Ensáyense inmediatamente o colóquense en recipientes plásticos con tapa y ensáyense dentro de las 8 horas después de terminada la mezcla.
 - a) Para suelos que pasan completamente por el tamiz de 4,75 mm (No. 4), pésense porciones de 300 g y titúlese como se describe en el punto "Titulación".
 - b) Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), pésense muestras de 700 g. Tamícense sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4), hasta que todo el material retenido esté libre de pequeñas partículas adheridas. Pésese y anótese como W/few todo el material que pase por el tamiz. Mézclese todo el material que pasó el tamiz y pésense 300 g por porción y titúlese como se describe en el punto "Titulación".

TITULACIÓN

20. Colóquense cada muestra de 300 g en un recipiente de polietileno de 1,9 l y añádanse 600 ml de solución de (NH_4Cl). Colóquese la tapa y agítese el recipiente durante 2 minutos (\pm 2 segundos). Déjese que la mezcla se sedimente por 4 minutos \pm 2 segundos.

Con una pipeta, extráiganse 10 ml alícuota de la solución de la parte superior y depositen en un Erlenmeyer de 250 ml, añadiendo 100 ml de agua destilada o desmineralizada. Mientras se mezcla fuertemente con un agitador magnético, añádanse gotas de solución de NaOH, hasta que se obtenga un pH entre 13,0 y 13,5, medido con el papel indicador o con el pH-metro aprobado.

(Úsese una barra agitadora para transferir las gotas de solución al papel indicador). Añádanse 4 gotas de solución de triaminoetanol y entonces añádanse alrededor de 0,2 g de polvo indicador. Mientras la solución se agita, con un agitador magnético, titúlense con solución EDTA a un punto final de azul puro, y anótese la cantidad en mililitros.

CÁLCULOS

- 21. Si el 100% del suelo pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4), léase el contenido de cal en peso seco, directamente de la curva de calibración correspondiente a los resultados de la titulación en ml de solución EDTA para la muestra de ensayo.
- 22. Si el suelo contiene material retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4), léanse gramos de cal de la curva de calibración correspondiente a los resultados de la titulación en ml de solución EDTA para la muestra del ensayo.

Calcúlense los valores A y B como sigue:

$$A = (W / f_{ew} / 300) \times W_{L300}$$

$$B = 700 / [1 + (w / 100)]$$

$$A = (W / f_{ew} / 300) \times W_{L300}$$

$$A = (VV/_{few}/300) \times VV_{L30}$$

$$B = 700/[1+ (w/100)]$$

Donde:

A =Peso de cal en la muestra de 700 g, en g.

B = Peso de suelo y cal en la muestra de 700 g, en g.

W/few =Peso de suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4), en g.

WL300 = Peso de cal leído de la curva de calibración, en g.

w=Humedad de diseño, en % . Entonces calcúlese L, el porcentaje de cal por peso seco de la muestra total, así

$$L = [A/(B-A)]X100$$

Las variaciones de la humedad tendrán un ligero efecto sobre la exactitud del ensayo. Las correcciones por variaciones de la humedad, pueden calcularse de la siguiente forma:

$$L = \frac{1 + (w^{1}/100)}{1 + \left[V_{W}/(W_{f} + W_{e})\right]}$$

Donde:

L' = Porcentaje de cal corregido por variación de la humedad.

L = Porcentaje de cal determinado del ensayo de la muestra.

w1 = Humedad de la muestra de ensayo determinado de una porción separada de material que pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4).

 V_w , W_f y W_e Son las cantidades calculadas de acuerdo con el punto "Preparacion de la curva de calibración ", para la serie 2.

PRECISIÓN

- Al utilizar este método, se estima que el 95% de todos los resultados de ensayo caerán dentro e ± 0,34% del verdadero contenido de cal para una mezcla particular.
 No se puede hacer enunciado alguno, para el promedio de más de un ensayo en cualquier laboratorio.
- La precisión del método de ensayo en ml de solución EDTA es de 0,34 aproximadamente, para cálculos de datos procedentes de mezclas de contenidos de cal conocidos.
 Sobre la base de una pendiente promedio de calibración igual a 2,6, la precisión del porcentaje de cal podría ser 0,13.

CAPÍTULO S0604. EXPANSIÓN UNIDIMENSIONAL, CONTRACCIÓN Y PRESIÓN DE LEVANTAMIENTO EN MEZCLAS DE SUELO- CAL (ASTM D3877)

OBJETO

Este método de ensayo suministra procedimientos para desarrollar ensayos de expansión, contracción y presión de levantamiento en muestras de suelo-cal, y puede utilizarse para determinar el contenido de cal requerido para lograr el control deseado de cambios volumétricos causados por aumentos o disminuciones de humedad.

Este ensayo puede usarse para determinar: 1) las magnitudes de los cambios de volumen bajo condiciones de carga variable, 2) la tasa de cambio volumétrico, y 3) la magnitud del cambio de presión con cambios de humedad de las mezclas de suelo-cal tomadas de la obra. Si se desea,también se puede determinar la permeabilidad de las mezclas de suelo-cal, para varias condiciones de carga.

USO Y SIGNFICADO

De los resultados de estos ensayos puede calcularse el potencial relativo de expansión de las mezclas de suelo-cal que contienen diversas cantidades de cal. De tal evaluación, se puede determinar la cantidad de cal necesaria para reducir la expansión a los valores especificados. Los datos pueden utilizarse entonces, para el diseño y fijación de requisitos de especificaciones para rellenos estructurales y rellenos en la sub-rasante, cuando se encuentran suelos expansivos y se desea dar un cierto grado de control sobre expansión-contracción en fundaciones de estructuras y sub-rasante de carreteras. Los ensayos también mostrarán si suelos específicos admiten estabilización con cal.

EQUIPOS

- 1. El aparato cumplirá completamentelos requerimientos del ensayo **\$0407** "Consolidación Unidimensional de los Suelos", exceptuando que el mínimo espesor del espécimen será de 19 mm (3/4"). Será capaz de ejercer una presión sobre el espécimen de al menos 200% de la máxima carga esperada de diseño y al menos la máxima presión de levantamiento.
- 2. Medidor micrométrico, montado sobre el aparato como muestra la Figura S0604_1, ó con otra disposición igualmente funcional. La precisión del medidor será de ± 0,0025 mm (0.0001").
- 3. Anillo de carga Maquinado a la misma altura del anillo del espécimen, con precisión de \pm 0,02 mm (0.001") y que pueda fijarse al consolidómetro.
- 4. Consolidómetro

Equipado con una llave de paso inferior para el drenaje y un tubo con depósito regulador para remover cualquier aire entrapado bajo el espécimen y para añadir agua al espécimen respectivamente como se muestra en la Figura S0604_1.

5. Collar de extensión

Para compactar especímenes de 100 mm (4") de altura y del mismo diámetro del anillo del espécimen. Los especímenes pueden ser compactados en un molde más grande que el anillo del espécimen y ser recortados luego para encajarlos en el anillo del espécimen.

6. Martillo compactador

- a) Operado manualmente.- Un martillo metálico que tenga una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm (2 ± 0.005 ") de diámetro, una tolerancia por el uso de 0.13 mm (0.005") que pese 2.495 ± 0.009 kg (5.50 ± 0.02 lb). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de 304.8 ± 1.524 mm (12.0 ± 0.06 " ó 1/16") por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación, no menores de 9.5 mm (3/8") de diámetro espaciados aproximadamente a 90° (1.57 rad) y 19 mm (3/4") de cada extremo, y deberá tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.
- b) Operado mecánicamente.- Un martillo de metal que esté equipado con un dispositivo para controlar la altura de caída del golpe hasta una altura libre de 304,8 ± 1,524 mm (12.0 ±0.06" ó 1/16") por encima del suelo y que distribuya uniformemente los golpes sobre la superficie de éste. El martillo deberá tener una cara plana circular de 50,8 ± 0,127 mm (2.0 ±0.005") de diámetro; una tolerancia por el uso de 0,13 mm (0.005") y un peso de fabricación de 2,495 ± 0,009 kg (5.50 ±0.02 lb).

Nota1: El martillo mecánico deberá calibrarse con varios tipos de suelos y ajustarse su peso, si fuere necesario, para que dé los mismos resultados de humedad-peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual. Puede ser impráctico el aparato mecánico de tal manera que la caída libre sea de 305 mm (12") cada vez que caiga el martillo, como con el martillo operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse levemente con el martillo para establecer el punto de impacto a partir del cual se determina la caída de 305 mm (12"). Los golpes subsiguientes sobre la capa de suelo que está siendo compactada pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 305 mm (12") por encima de la altura inicial de asentamiento o, cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de una altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 305 mm (12") medidos a partir de la altura del suelo como quedara compactado mediante el golpe previo.

c) Cara del martillo

Deberá emplearse el martillo con cara circular, pero podrá usarse como alternativa uno con carade sector circular. Deberá indicarse en el informe el tipo de cara usada diferente de la circular de 50,8 mm (2"), de diámetro, pero la utilizada deberá tener un área igual al de la cara circular.

7. Placas de vidrio

Para cubrir cada anillo de consolidómetro, deben ser dos.

MUESTREO

Las muestras de suelo natural para estos ensayos, se obtendrán de acuerdo con cualquiera de

los métodos de muestreo de suelos aprobados. Las muestras no deberán ser secadas al horno

antes de preparar los especímenes de ensayo.

PROCEDIMIENTO

- **8.** Móntese la base del consolidómetro, el anillo del espécimen, los platos porosos y los platos de carga con el anillo de carga en el recipiente del espécimen desocupado, con la misma disposición de partes que es usada para ensayar el espécimen.
- **9.** Colóquese el montaje anterior, sobre al aparato de carga con la misma posición que ocupará durante el ensayo.
- **10.** Aplíquese una carga igual a una presión unitaria de 2,4 kPa (50 lb/pulg²) sobre el plato de carga.
- 11. Anótese la lectura inicial del medidor micrométrico, r1. Márquense las partes del aparato para que puedan reensamblarse en la misma posición durante el ensayo del espécimen de suelo-cal.
- **12.** Prepárense un mínimo de 1000 g (2 lb aproximadamente) de mezcla de suelo-cal con los contenidos de cal y de agua deseados, de acuerdo con el *ensayo \$0605* "Preparación en el laboratorio de mezclas de suelo-cal". La mezcla no deberá tener partículas mayores de 4,75 mm.
- **13.** Pésese el anillo del consolidómetro.
- 14. Con el collar de extensión en su sitio, sobre el anillo del consolidómetro, compáctese el espécimen en dicho anillo hasta el peso unitario húmedo deseado, con el compactador disponible. El espécimen deberá tener un espesor de cerca de 6 mm mayor que la altura del anillo de carga.
- **15.** Retírese el collar de extensión y recórtese el exceso de material de la parte superior del espécimen con un emparejador u otra herramienta.
- **16.** Retírese una muestra de los recortes para una determinación del contenido de agua según el *método \$0301* "Determinación en el laboratorio del contenido de agua".

- 17. Inmediatamente después de recortar el espécimen compactado, pésense, aníllense y cúbranse las superficies expuestas del espécimen con placas de vidrio sostenidas con abrazaderas, hasta que este sea colocado en el aparato de carga.
- 18. Calcúlese el peso unitario del espécimen que llena a ras el anillo del consolidómetro y el peso neto del espécimen. El peso unitario húmedo calculado, se aproximará a los 15 kg/m³ (lb/pie³) y la humedad al 1% de la requerida.
- **19.** Si el peso unitario esperado no se logra, descártese ese espécimen. Repítase el proceso de compactación, ajustando el esfuerzo de compactación hasta obtener el peso unitario deseado.
- **20.** Cualquier curado de los especímenes de suelo-cal, deberá hacerse en este momento. Para ello, se introducen los especímenes en recipientes sellados para prevenir evaporación del agua ocarbonatación de la cal.
- 21. Al final del período de curado colóquense los especímenes con sus anillos confinantes de consolidómetro en el aparato de carga de acuerdo con el *ensayo 50407*, haciendo coincidir las partes marcadas con las señales que se usaron para la calibración inicial.
- **22.** Aplíquese una carga de fijación de 2,4 kPa (50 lb/pulg²).
- **23.** Anótese la lectura del medidor micrométrico, r2. Utilizando la diferencia entre r1 y r2, determínese la altura exacta del espécimen.

ENSAYO DE EXPANSIÓN

- **24.** Las características expansivas de los suelos expansivos con o sin tratamiento con cal, varían con los patrones de esfuerzos aplicados.
- **25.** Se necesitan al menos dos especímenes duplicados para un ensayo completo.
- Utilizando los procedimientos descritos en este método y en el del ensayo S0407, se determinan los datos para dos series de ensayos: 1) Cargado y expandido, para lo cual, el espécimen no empapado se satura con agua y es cargado para prevenir la elevación del espécimen (curva A de la Figura S0604_2) y 2) expandido y cargado, para lo cual el espécimen se satura en libertad, antes de aplicarse la carga (curva B de la Figura S0604_2). La curva C de esa figura, representa cualquier proceso de carga intermedio entre los descritos.
- **27.** Cargado **y expandido**:

Después que la carga inicial de fijación ha sido aplicada, y la lectura inicial del medidor ha sido anotada, satúrese el espécimen No.1 de la manera siguiente:

- a) Llénese el depósito regulador del tubo del consolidómetro con agua destilada, cuidando de remover cualquier burbuja de aire que pueda estar atrapada en el sistema, humedeciendo lentamente la piedra porosa inferior y drenándola con la llave de paso inferior. (La cabeza de agua en el tubo del permeámetro debería estar tan baja, que el espécimen no se levante).
- b) Cuando el espécimen comience a expandirse, increméntese la carga lo necesario para que el espécimen permanezca con su altura original.
- c) Después de cargar hasta el máximo para medir la máxima presión de elevación y que quede constante por 48 horas como mínimo, redúzcase la carga hasta ½, ¼ y1/8 de la carga máxima y finalmente manténgase la carga en 2,4 kPa (50 lb/pulg²).

 Mídase la altura para cada valor de carga. Úsese un mayor número de cargas, si se necesitan
 - más detalles en la curva de ensayo.
- d) Manténganse todas las cargas durante 24 horas o más tiempo si esto es necesario, hasta obtener valores de altura constantes.
- e) Extráigase el espécimen del anillo recipiente y pésese inmediatamente. Pésese otra vez después de secarlo en horno a 105°C (221°F).
- f) Determínese el contenido de agua del espécimen completo.
- g) Asegúrese una muestra para el ensayo de peso específico, del espécimen secado al horno. Determínese tal peso específico.
- h) Calcúlese el grado de saturación, el peso unitario aparente seco y el peso específico del espécimen.

28. Expandido y cargado

Después que la carga de fijación inicial ha sido aplicada y la lectura inicial del medidor micrométrico se ha anotado, satúrese el espécimen No.2 de acuerdo con lo descrito en el numeral 27.

- a) Permítase que el espécimen se expanda bajo la carga de fijación durante 48 horas como mínimo o hasta que la expansión esté completa.
- b) Cárguese el espécimen sucesivamente con 1/8, ¼, ½ y 1 del valor de la carga máxima que se aplicó al espécimen No.1 para determinar las características de reconsolidación del espécimen.
- c) Úsese un número mayor de cargas si se necesitan más detalles en el ensayo.
- d) Sígase el procedimiento especificado en el *método S0407*, para hacer las medidas ydeterminaciones.

29. Expansión por carga individual.

Cuando se necesita ejecutar ensayos separados de expansión para otras condiciones de carga, úsese el siguiente procedimiento:

a) Después de que la carga inicial de fijación ha sido aplicada a los especímenes y que las lecturas iniciales del medidor micrométrico hayan sido anotadas, cárguese cada espécimen al valor de carga deseado y satúrese de acuerdo con el numeral 27, literal a).

- b) Déjese expandir el espécimen bajo la carga aplicada, durante 48 horas, o hasta que la expansión se complete. Mídase la altura del espécimen expandido.
- c) Redúzcase la carga hasta el valor de la carga de fijación. Déjese que la altura llegue a ser constante y mídase, entonces retírese el espécimen del anillo y háganse las determinaciones de contenido de agua, peso unitario aparente seco, peso específico y grado de saturación de acuerdo con el numeral 27.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

- **30.** Después de que la saturación de cualquiera de los especímenes descritos en los numerales 14, 29 y 31 ha sido completada, se pueden tomar lecturas de permeabilidad en cualquier momento durante el ensayo, llenando el tubo del permeámetro.
- **31.** Anótese la cabeza inicial Hi, y déjese que el agua percole a través del espécimen.
- **32.** Mídase la cabeza en el depósito regulador Hf, y el tiempo transcurrido en minutos durante la medida de la caída de la cabeza.
- **33.** Los ensayos de permeabilidad para cualquier condición particular serán ejecutados, por lo menos, durante períodos de 24 horas.

ENSAYOS DE CONTRACCIÓN

- **34.** Cuando se necesitan medidas de contracción durante el secado, prepárese un espécimen adicional de acuerdo con el punto "Procedimiento". Moldéese este espécimen en un recipiente anular a las mismas condiciones de peso unitario.
- **35.** Determinar el peso unitario aparente y contenido de agua, usadas para los especímenes de expansión No.1 y No.2.Mídase la altura inicial, el volumen y el contenido de agua y el peso unitario, como se describe en 15 y 25.
- **36.** Determinación de alturas de contracción.
 - Si se necesita la altura del espécimen secado al aire, séquese al menos la cantidad de agua correspondiente al límite de contracción, dejando el espécimen al aire.
 - a) Colóquese el espécimen seco y el recipiente anular en la máquina de carga.
 - b) Aplíquese una carga de fijación de 2,5 kPa (50 lb/pulg²) y léase el medidor.
- **37.** Determinación del volumen de contracción.
 - Para medir el volumen de contracción, déjese el espécimen en el anillo en el aire, al menos hastaque el contenido de agua corresponda al límite de contracción.

Después que el espécimen haya sido secado al aire, retírese del recipiente anular y determínese su volumen por el método del desplazamiento de mercurio, que es el mismo utilizado en la determinación del límite de contracción, excepto que el aparato es más grande con un tamaño al cual se acomodará el espécimen del consolidómetro.

Si el espécimen de contracción se rompe en partes separadas, mídase el volumen de cada parte y súmense para obtener el volumen total.

CÁLCULOS

38. Datos del ensayo de Expansión Calcúlese la relación de vacíos como sigue:

$$e=(h-h_o)/h_o$$

Donde:

e = Relación de vacíos (volumen de vacíos/volumen de sólidos)

h = Altura del espécimen

h_o= Altura del material sólido al contenido de vac\(i\)os cero.

Calcúlese la expansión como porcentaje de la altura original de la manera siguiente:

$$\Delta$$
,%=[$(h_2-h_i)/h_i$] x 100

Donde:

Δ = Expansión en porcentaje del volumen inicial

h_i = Altura inicial del espécimen

h₂ = Altura del espécimen bajo una condición de carga específica.

39. Datos del ensayo de permeabilidad.

Calcúlese la tasa de permeabilidad, por medio de la siguiente fórmula básica para el permeámetro de cabeza variable:

$$k = [(A_p - L_S)/(A_S \times 12)] \times (1/t) \ln (H_i/H_f)$$

Donde:

k = Tasa de permeabilidad, en pie/año

Ap= Área de la llave de paso que suministra la cabeza de percolación, en pulg.

A_s = Área del espécimen, en pulg. L_s = Longitud del espécimen, en pulg.

H_i = Cabeza inicial, diferencia entre la cabeza de agua y el fondo, en pulg.

H_f = Cabeza final, en pulg.

t = Tiempo transcurrido en años

Nota 2: Obtenido el resultado puede convertirse a unidades del sistema internacional.

40. Datos del ensayo de contracción

Calcúlese la contracción volumétrica, como un porcentaje del volumen inicial como sigue:

$$\Delta_S = \left[\left(V_i - V_d \right) / v_i \right] \times 100$$

Donde:

Δ_s= Contracción volumétrica en porcentaje del volumen inicial

v_i = Volumen inicial del espécimen (altura del espécimen por el área del recipiente anular)

v_d = Volumen del espécimen secado al aire, resultante del método del desplazamiento de mercurio.

a) Calcúlese la contracción lineal por altura, como sigue:

$$\Delta h_{\rm S} = \left[h_i - h_d\right) / h_i \, x \, 100$$

Donde:

Δhs = Altura contraída en porcentaje de la altura inicial

h_i = Altura inicial del espécimen,

h_d = Altura del espécimen secado al aire.

b) Para calcular el porcentaje total del cambio volumétrico de la condición "secado al aire" a la condición "saturado", añádase el porcentaje de contracción volumétrica, secado al aire s, al porcentaje de expansión volumétricaen la saturación, calculado en 39. Este valor es usado como un indicador del potencial total de expansión, basado en las condiciones iniciales de peso unitario y contenido de agua.

Puesto que los datos de expansión volumétrica son determinados para diversas condiciones de carga, el cambio volumétrico total, puede también determinarse para varias condiciones de carga.

 c) Para calcular el porcentaje total de cambio en altura entre las condiciones saturada y secado al aire,añádase el portentaje de contracción lineal en altura al porcentaje deexpansión cuando el espécimen es saturado bajo condiciones de carga cero o para los valores deseados.

GRÁFICAS DE LOS DATOS DE ENSAYO

Con los datos obtenidos de los ensayos de expansión, háganse gráficos como el de la *Figura S0604_2*.

INFORME

41. Ensayo de Expansión.

En el informe se debe incluir la siguiente información:

- a) Identificación de la muestra (No. de perforación, profundidad, localización, etc.).
- b) Descripción del suelo ensayado y tamaño de la fracción ensayada y de la muestra total.
- c) Porcentaje de cal mezclado con el suelo.
- d) Condiciones iniciales de peso unitario y humedad y grado de saturación. Dar los porcentajes del peso unitario máximo y la humedad óptima para las mezclas de suelo cal compactada, basada en los *métodos S0402 o S0403*, Relaciones de peso unitario y humedad (Proctor estándar o modificado), indicando cual método se usa para la comparación.
- e) Tipo de consolidómetro (de anillo fijo o flotante, tamaño del espécimen) y tipo de aparato de carga.
- f) Un gráfico con curvas de carga-cambio volumétrico como se muestra en la Figura S0604_2 (una curva de relación de vacíos Log presión, puede incluirse si es necesario).
- g) Una curva de Log tiempo-deformación, si se requiere.
- h) Suministro de los datos de carga y tiempo versus cambios volumétricos en otras formas, si específicamente esto es requerido.
- i) Contenido final de agua, peso unitario aparente seco, y grado de saturación.
- **42.** Ensayo de permeabilidad.

Infórmense los datos de permeabilidad y cualquier otro dato específicamente solicitado.

43. Ensayo de contracción.

Inclúyanse datos de la disminución de volumen en la condición inicial de "secado al aire" y, si se desea, otras informaciones tales como el cambio volumétrico total y el cambio total de altura. Infórmense las condiciones bajo las cuales las medidas del cambio volumétrico fueron obtenidas.

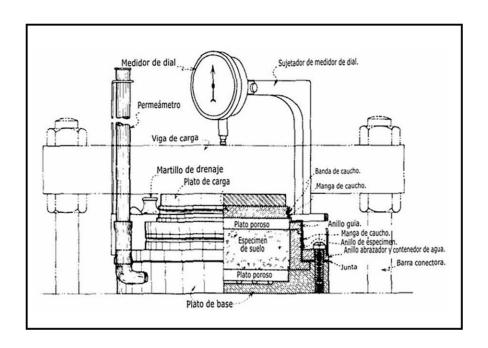


FIGURA S0604_1CONSOLIDÓMETRO DE ANILLO FIJO

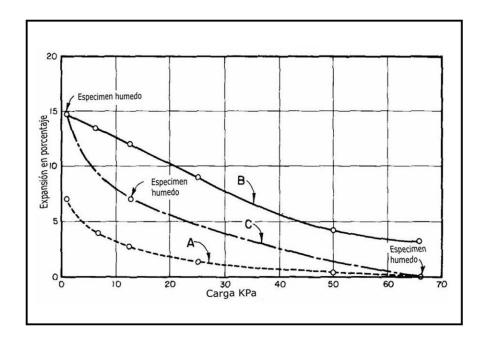


FIGURA S0604_2 EJEMPLO DE CURVA CARGA – EXPANSIÓN

CAPITULO S0605.

PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE MEZCLAS DE SUELO-CAL EMPLEANDO UNA MEZCLADORA MECÁNICA (ASTM D3155G)

OBJETO

Este método se refiere a la preparación en el laboratorio de mezclas de suelo-cal para emplearlas en la determinación de los efectos de la cal sobre las propiedades del suelo (plasticidad, resistencia, relaciones de humedad, peso unitario, etc.), y para el diseño de mezclas para construcción de capas estabilizadas.

USO Y SIGNIFICADO

Este método normaliza la preparación de mezclas de suelo-cal para los ensayos de laboratorio necesarios para la determinación de las propiedades del suelo cuando se estabiliza con cal.

Se hace mención en este método al período de maduración, pero no se dan recomendaciones específicas en cuanto al mismo. El período de maduración que se va a emplear en el ensayo, depende de cada uso específico y deberá ser definido en la correspondiente especificación de construcción.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **1.** Mezcladora mecánica, que pueda producir mezclas uniformes y homogéneas de suelo, cal y agua.
- **2.** Espátulas, palustres, cucharas, etc., apropiadas para transferir el suelo y la cal a la mezcladora, y para raspar y limpiar el tazón y otras partes de la mezcladora.
- 3. Balanza
 - Una balanza o báscula que pueda pesar al menos 1000 g con precisión de 1 g, para emplear en el pesaje del suelo, de la cal y del agua.

PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

- 4. El suelo para la elaboración de la mezcla podrá secarse al aire o al horno, a menos que haya razón para creer que por ello se afectan excesivamente los resultados. En este caso, deberá curarse el suelo con o cerca del contenido final de humedad durante un período predeterminado. Es típico un período de 24 horas para el secamiento al aire del suelo. El tamaño de la muestra y su preparación, estarán dictadas por los requerimientos del ensayo para el cual se prepara la muestra.
- Determínese la humedad higroscópica del suelo secado al aire de acuerdo con el Método \$0301.

Pésese una cantidad suficiente de suelo para proporcionar el suelo secado al horno requerido para preparar el número deseado de especímenes de ensayo. Colóquese en el tazón de la mezcladora mecánica. Pésese también la cantidad de cal, con base en el peso secado al horno del suelo requerido, para el porcentaje deseado en la mezcla final, y colóquese también en el tazón.

- **6.** Póngase en marcha la mezcladora e incorpórese en seco el suelo y la cal durante 1 minuto, o hasta que la mezcla presente un color uniforme.
- Pésese o mídase con un recipiente, la cantidad de agua necesaria para proporcionar la humedad deseada (Nota 1) y adiciónese a la mezcla en forma de corriente tenue o fino rocío, mientras que esté en movimiento la mezcladora. Después de agregada el agua, continúese la mezcla durante 5 minutosadicionales. Al completar aproximadamente la mitad de este período, deténgase la mezcladora por unos pocos segundos y ráspense todas sus partes para devolver cualquier mezcla en terrones al tazón de la mezcladora. Continúese el mezclado durante el resto del período de 5 minutos.

Nota 1: Deberá suministrarse, adicionalmente al agua de mezcla, un exceso de alrededor del 1% del contenido final de humedad deseado, para cubrir la evaporación durante el mezclado. La cantidad de agua extra requerida dependerá de las condiciones del laboratorio y deberá determinarse experimentalmente.

- 8. Cumplidos los cinco (5) minutos, deténgase la mezcladora y ráspense todas sus partes para retornar cualquier porción de terrones de la mezcla al tazón de la mezcladora. Remuévase el tazón, mézclese brevemente con un palustre o espátula y fórmese un montículo ligeramente compactado en el fondo del tazón. Cúbrase inmediatamente el tazón para minimizar la evaporación de humedad.
- 9. Si se permite la maduración de la mezcla, deberá colocarse ésta en un recipiente más pequeño y cerrado, para reducir la cantidad de evaporación. Las operaciones deberán programarse de manera que la mezcla sea utilizada inmediatamente después de la evaporación de mezclado o después del período de maduración. Es típico un período de maduración de 1 hora, aún cuando se han empleado períodos hasta de 24 horas.

CAPÍTULO SO7 MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO – CEMENTO, CON ÉNFASIS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL O CHACO

CAPÍTULO S0701. MÉTODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO

OBJETO

Este método tiene por finalidad determinar la cantidad de cemento hidráulico por agregar a materiales granulares para obtener una resistencia específica a una densidad determinada. Este método es aplicable a bases tratadas con cemento (BTC) y gravas tratadas con cemento (GTC).

No es aplicable a suelo – cemento ni a bases abiertas ligadas con cemento (BAL).

Deberán Inicialmente realizarse los siguientes controles:

- a) Análisis granulométrico,
- b) Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico).
- c) Densidad aparente.
- d) Desgaste de Los Ángeles.
- e) Determinación de absorción de agua.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Fraccionamiento

- 1. Si la muestra cumple con los requisitos de las especificaciones, tales como granulometría, desgaste, etc., proceda a separar el material grueso en las fracciones siguientes:
 - a) Material que pasa el tamiz de 25 mm (1") y queda retenido en el de 19 mm (3/4").
 - b) Material que pasa el tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en el de 9,5 mm (3/8").
 - c) Material que pasa el tamiz de 9,5 mm (3/8") y queda retenido en el de 4,75 mm (N° 4).

Humedecimiento

2. Sumerja en agua, por un periodo de 24 horas, cada fracción por separado del material grueso indicada en 1; luego retírelas y séquelas superficialmente, mediante un paño absorbente húmedo, de acuerdo al Método para Determinar la Densidad Real, La Densidad Neta y Absorción de Aguas en áridos

Gruesos. La cantidad de fracción por saturar será la necesaria, de acuerdo a la granulometría del material original, para confeccionar a lo menos 12 probetas.

A la fracción bajo 5 mm se le determina la humedad.

Preparación

3. Con estas fracciones del material, se reconstituyen porciones de 2.500 g consideradas secas, es decir, con las correcciones correspondientes por absorción de agua del árido grueso y humedad natural del fino, de modo de obtener la granulometría original con las siguientes modificaciones: el porcentaje de material bajo 5 mm permanece constante y el material sobre 25 mm descartado, se reemplaza proporcionalmente de acuerdo a la granulometría original en los tamaños 25 mm – 20 mm; 20 mm – 10 mm y 10 mm – 5 mm. Ejemplo. Se tiene un material con la granulometría original que se indica:

TABLA S0701_1 EJEMPLO GRANULOMETRÍA DE MATERIAL

	Tamiz	Porcentaje que pasa (%)					
(mm)	Alternativo	roiceiliaje que pasa (%)					
37,5	1 ½"	100					
25	1"	85					
19	3/4"	77					
9,5	3/8"	58					
4,75	N°4	44					

- a) Reemplazo = 100 85 = 15%
- b) Retenido sobre 5 mm = 100 44 = 56%
- c) Retenido entre 25 y 5 mm = 85 44 = 41%
- d) Factor de corrección $\underline{56}$ = 1,3659 41
- e) % a tomar para confección de probeta: Entre 25 y 20 mm = (85 – 77) x 1,3659 = 10,9%

Entre 10 y 5 mm =
$$(58 - 44)$$
 x $1,3659 = 44,0\%$

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD OPTIMA Y LA DENSIDAD MÁXIMA

- 4. Se usa la energía de compactación del método C del Proctor Modificado, vale decir, con molde de 100 mm y pisón de 4,5 Kg. de peso y 460 mm de caída; se compacta en 5 capas de aproximadamente igual espesor con 25 golpes por capa, escarificando con un punzón el contacto entre capa y capa.
- **5.** La mezcla por usar debe contener el porcentaje intermedio de cemento del rango que se estime sea el adecuado.
- **6.** La cantidad de agua requerida para el máximo de compactación, se refiere como humedad óptima referida al peso seco del material, áridos más cemento.

PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Preparación

- 7. Preparar las probetas con la misma energía de compactación y humedad óptima indicadas en 0; prepare 3 probetas con el contenido de cemento intermedio, 3 con 1% más de cemento y otras 3 con 1% menos que el utilizado en la determinación de la humedad óptima.
- **8.** Prepare la mezcla para estas probetas en la proporción indicada en 3, mezclando íntimamente el material con el porcentaje de cemento y luego añada la cantidad de agua necesaria para obtener la humedad óptima.
- **9.** Después del mezclado, cubra inmediatamente la paila para evitar pérdidas de humedad y deje reposar durante 30 minutos antes de compactar las probetas.

Pesada

10. Pese las probetas con molde, previamente tarado, para obtener su densidad.

Rotulado

11. Cada probeta debe acompañarse con un rótulo en que figuren antecedentes como: contrato, fecha de confección, número correlativo de la probeta en la serie, porcentaje de cemento empleado y su clase y grado.

CURADO DE LAS PROBETAS

- 12. Inmediatamente confeccionadas las probetas, protéjalas de la pérdida de humedad con un polietileno, hasta que se coloquen en cámara húmeda, lo más rápidamente posible. De no contar con cámara, cúrelas en arena húmeda casi saturada.
- **13.** Mantenga el curado por 6 días y a continuación sumérjalas en agua por 24 horas para completar los 7 días antes de ensayarlas a comprensión.

ENSAYE DE COMPRESIÓN

14. Seque superficialmente las probetas; si éstas no tienen sus caras planas y lisas es necesario refrentarlas con yeso colocado en un vidrio cubierto con una película de grasa.

15. Después ensaye a la compresión en una máquina de ensaye, a una velocidad de elevación de 1,27 mm/min.

Si se usa una máquina hidráulica, aplique la carga a una velocidad comprendida entre 1,12 kN/seg y 2,8 kN/seg. Lo ideal es que para una probeta de 100 mm de diámetro se alcance una carga total de 9,8 kN en 0,1 min. (1.000 Kgf en 5 seg.).

FÓRMULA DE TRABAJO

16. Informe los resultados incluyendo graduación usada, resistencia a la compresión, humedad, densidad seca y contenido, clase y grado de cemento.

La fórmula de trabajo, deberá contemplar la banda de trabajo con las siguientes tolerancias:

sobre 5 mm ± 5%, entre 5 y 0,5 mm ± 4% y bajo 0,5 mm ± 2%.

Densidad de diseño, igual a la óptima.

Contenido de cemento hidráulico (Nota 1), que corresponda a una resistencia media de las probetas igual a 1,25 veces la resistencia especificada a 7 días y determinada a la densidad requerida en el proyecto.

Nota 1: Se puede bajar la dosis si durante la ejecución de la obra se logra un coeficiente de variación adecuado y resistencia mayor a 1,2 veces la resistencia especificada.

CAPÍTULO S0702. MÉTODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO

OBJETO

En este método se entregan los procedimientos para el control de las bases y gravas tratadas con cemento empleadas en las obras viales y diseñadas de acuerdo con el *Método S0701*

MEZCLAS EN PLANTA

Control de Mezclado

variado significativamente.

planta estabilizadora.

Antes de comenzar la confección de la mezcla, se debe contar con el 30% de la producción total del árido pétreo. La calidad, uniformidad y dosis a emplear deben estar respaldadas por la dosificación correspondiente efectuada según el *Método S0701*.
 Los controles granulométricos y de uniformidad posteriores deben cumplir con la banda de trabajo establecida en la dosificación; en caso contrario, proceda a verificar la dosificación para modificar la banda de trabajo o realizar una nueva dosificación si los parámetros han

La humedad del material que entra a la planta no deberá ser superior que el 60% de la óptima. El tiempo de revoltura es de 90 seg. por carga si se usa hormigonera en vez de una

Controle todos estos requerimientos junto con el chequeo diario de la calibración de la planta.

Tiempo de Operación

2. Controle el tiempo de operación desde el momento en que la mezcla fresca sale de la planta y durante todo el tiempo que dura el proceso de compactación. Las diferentes operaciones no deberán exceder los siguientes límites:

Tiempo entre la adición del agua hasta el inicio de la compactación: máx. 2 horas.

Tiempo entre la adición del agua hasta el término de la compactación: máx. 3 horas.

Ejecute este control por lo menos dos veces por jornada.

Control de Colocación

3. Resistencia

En cada jornada tome por lo menos una muestra de la mezcla fresca, inmediatamente antes de comenzar la compactación inicial, conformada por 3 probetas confeccionadas como sigue:

- a) Obtenga mezcla fresca representativa y protéjala de pérdidas de humedad, colocándola en una paila grande y cubriéndola de inmediato.
- b) Inmediatamente después de llevar la mezcla al punto de fabricación de las probetas, revuélvala y pásela por el tamiz 25 mm (1"), descartando el material retenido en él.
- c) Obtenga la humedad de la mezcla por secado directo, tomando como mínimo 1.000 g.
- d) Forme la probeta empleando el molde de 100 mm, aceitado y con collar ajustado, depositando la mezcla en 5 capas aproximadamente iguales; compacte cada capa con 25 golpes con pisón de 4,5 Kg., y altura de caída de 460 mm, uniformemente distribuidos; escarifique antes de colocar cada capa.
- e) Inmediatamente de confeccionada las probetas, péselas y guárdelas sin desmoldar en una caja de madera cerrada que tenga en su interior una capa de 2,5 cm de aserrín o arena húmeda.
 Después de aproximadamente 18 horas, llévelas al laboratorio, desmóldelas y sométalas al curado final en cámara húmeda o bajo arena casi saturada de agua, hasta completar 6 días. A continuación, déjelas 24 horas sumergidas en agua antes de ensayarlas a compresión. Efectúe este ensayo aplicando la carga a una velocidad de 1,27 mm/min. o velocidad de carga entre 1,12 kN/seg. a 2,8
- f) Los resultados de la resistencia a la comprensión deben cumplir con los criterios de aceptación del proyecto.

Compactación.

kN/seg..

4. Una vez terminada la compactación final, controle el espesor y la compactación, de acuerdo con el Método del cono de Arena para Determinar la Densidad en Terreno. El porcentaje de compactación deberá ser igual o superior al 95% de la densidad de diseño determinada según el **Método S0701.**

Para la capa inmediatamente bajo la capa de rodado, el mínimo será del 98% de la densidad de diseño. Los espesores compactados por capa pueden fluctuar entre 12 y 24 cm. Esta determinación se efectuará cada 75 m, si la base tratada se ejecuta por media faja y cada 50 m, si se construye a faja completa.

MEZCLAS EN SITIO

Control de Mezclado

- **5.** Antes de comenzar la confección de la mezcla se debe contar con el 30% de la producción total del árido pétreo. La calidad, uniformidad y dosis a emplear deben estar respaldadas por la dosificación correspondiente efectuada según el *Método S0701*.
 - Los controles granulométricos y de uniformidad posteriores deben cumplir con la banda de trabajo establecida en la dosificación, en caso contrario, proceda a verificar la dosificación

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

para modificar la banda de trabajo o realizar una nueva dosificación si los parámetros han variado significativamente.

Controle los cordones de áridos en cuanto a calidad, cantidad y uniformidad. Estos deben ser confeccionados mediante cerchas.

La humedad del cordón de árido inmediatamente antes de incorporado el cemento, no deberá ser superior que el 60% de la óptima. El cemento debe incorporarse en una camada de un ancho tal que el espesor resultante sea inferior a 0,40 m sueltos. Cuando se está construyendo una base tratada nivelante, las longitudes y anchos de la camada deberán ser uniformes, con una tolerancia máxima de \pm 0,10 m. Cuando se trate de una base de espesor uniforme, la tolerancia se referirá al espesor suelto y será de \pm 0,05 m.

El cemento deberá agregarse cubriendo, con un espesor uniforme, todo el ancho y longitud de la camada para, inmediatamente después, comenzar el mezclado.

Controle la uniformidad de la mezcla árido - cemento mediante zanjas que corten de lado a lado la camada con un ancho igual al de la pala y verifique visualmente la uniformidad en las paredes laterales de esa zanja.

El agua deberá agregarse como mínimo en 3 parcialidades aproximadamente iguales; entre unas y otras deberá efectuarse un premezclado del agua con la parcialidad correspondiente del material. La mezcla se completará cuando se haya incorporado toda el agua. Terminado el mezclado controle nuevamente la uniformidad.

Tiempo de Operación

- **6.** Se deberán controlar los tiempos de homogeneización del cemento, la revoltura y la compactación; éstos no deberán exceder los siguientes límites:
 - -Tiempo desde que se incorpora el cemento a homogeneización total: máx. 2 horas.
 - -Tiempo desde adición de agua a compactación inicial: máx. 2 horas.
 - -Tiempo desde adición de agua a término de la compactación: máx. 3 horas.

Control de Colocación

- **7.** Resistencia. Tome una muestra de la mezcla fresca inmediatamente antes de comenzar la compactación y confeccione 3 probetas por cordón según 3.
- **8.** Compactación. Proceda según lo indicado en 4.

CURADO

9. Inmediatamente de terminada la compactación procede efectuar el curado mediante emulsión diluida 1/1 a razón de 1,25 Kg./m², RC – 250 a razón de 1,0 Kg./m² o polietileno. Si se efectúa por el método del polietileno debe cuidarse que éste quede convenientemente traslapado y se mantenga en contacto directo en toda la superficie de la base, de modo que no quede aire atrapado entre polietileno y base; para ello, es necesario cubrirlo con una delgada capa de arena o suelo. Este curado debe mantenerse como mínimo durante 7 días.

No permita transitar la base durante el período de curado, salvo por el tránsito de construcción, que puede hacerlo después de las 72 horas de terminada la compactación.

CAPÍTULO S0703. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACIÓN EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO

OBJETO

- a) Este método permite determinar el porcentaje de cemento de bases tratadas con cemento, gravas tratadas con cemento y suelos cemento, en estado fresco. El ensaye se basa en un proceso de titulación química, empleando para tal efecto dos métodos alternativos que dependen de las características de los áridos.
- b) Titulación ácido base, que se utiliza cuando los áridos no reaccionan con ácido clorhídrico.
 - Método de neutralización, para el caso que los áridos presenten reacción con ácido clorhídrico.

EQUIPOS Y MATERIALES

- a) 1 bureta para titulación, de 100 ml.
- b) 1 pedestal con abrazadera para sujeción de la bureta.
- c) 1 pipeta de 100 ml.
- d) 4 matraces de 200 ml.
- e) 8 matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- f) 8 cubetas plásticas de 500 ml de capacidad mínima.
- g) 8 recipientes de plásticos de 2 l de capacidad.
- h) 3 bidones de plástico de 20 l de capacidad, equipados con sifones, neopreno, abrazaderas, etc., para contener soluciones ácidas, básicas y agua.
- i) 8 agitadores de acero inoxidable.
- j) 1 tamiz de 9,5 mm (3/8") de abertura y 300 mm de diámetro.
- k) 1 tamiz de 37,5 mm (1 ½") de abertura y 300 mm de diámetro.
- 1) 1 balanza de 5 Kg. de capacidad, graduada al gramo.
- m) 1 balanza de torsión de 500 g de capacidad graduada a la décima de gramo.
- n) 1 balanza de capacidad superior a 1.000 g y graduada a la décima de gramo.
- o) 1 cronómetro.
- p) Vasos de precipitado.
- g) Arena normal.

Reactivos

- r) Ácido clorhídrico (aprox. 3 N).
- s) Hidróxido de Sodio (aprox. 1 N).
- t) Indicador de fenoftaleina (solución al 1%).

VALIDEZ DEL MÉTODO

1. Minerales tales como caliza, calcita, dolomita u otros, que eventualmente pudieran contener los áridos, reaccionan con el ácido clorhídrico, invalidando eventualmente alguno de los

- métodos que se describen. Por tal motivo, haga un análisis previo para determinar el método adecuado.
- 2. Aplique el método ácido base (5) tanto a muestras de material sin cemento como a muestras de arena normal. Si cualquiera de los ensayes de las muestras sin cemento requiere de una cantidad de hidróxido de sodio mayor en 6 ml o más de la cantidad requerida para la arena patrón, use el método de Neutralización; si la diferencia es menor que 6 ml, aplique el Método Acido Base.

MÉTODO 1, TITULACIÓN ACIDO – BASE

Procedimiento de Ensayo

- **3.** Extraiga las muestras de base tratada con cemento en terreno de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 2 y enumérelas de 1 a 8; cada muestra deberá tener un peso mínimo de 3 kg. Determine la masa de cada una aproximando al gramo.
- 4. Remueva y elimine aquellas partículas retenidas en el tamiz 37,5 mm (1 ½"). Separe el material resultante en el tamiz 9,5 mm (3/8") y determine el porcentaje que pasa en dicho tamiz con respecto a la masa total obtenida en 3.
- 5. Extraiga una muestra de 300 g compuesta por una fracción sobre 10 mm y otra bajo 10 mm de acuerdo al porcentaje determinado en 4. Coloque cada muestra en un recipiente de plástico y alinéela a lo largo del mesón de trabajo. Controle y verifique que el tiempo transcurrido entre el mezclado de la base tratada en terreno y el momento de iniciar el ensaye no varíe en más de 15 min. del tiempo de preparación de muestras considerado en la determinación de la curva patrón (ver "Determinación de la Curva Patrón").
- 6. Mida por cada muestra, 200 ml de HCI (3 N) usando un matraz aforado. Vierta el ácido clorhídrico en un matraz Erlenmeyer y colóquelo detrás de cada recipiente con muestra. Mida por cada muestra 400 ml de agua potable; viértala en una cubeta plástica y colóquela detrás de cada Erlenmeyer con ácido.
 - Agregue 200 ml de ácido a cada una de las muestras y revuelva durante 45 seg. Adicione el ácido comenzando desde la muestra N° 1, revuelva y agite las muestras nuevamente durante 45 seg., a los 6 y 12 min. después de adicionado el ácido.
- **7.** A los 18 min. de iniciado el proceso, agregue 400 ml de agua de la respectiva cubeta plástica a cada una de las muestras y, de acuerdo al orden de trabajo ya establecido, agite la mezcla durante 45 seg. en cada ocasión.
- 8. Deje decantar las muestras durante 30 minutos, tome con una pipeta 100 ml del residuo ácido de la primera muestra y deposítelo en un matraz Erlenmeyer limpio. Repita la operación con las otras muestras sucesivamente cada 45 segundos. Agregue dos gotarios completos (aprox. 40 gotas) de la solución de fenolftaleína a cada matraz Erlenmeyer.
- 9. Titule la solución de cada matraz agregando hidróxido de sodio de la solución preparada según Anexo 1, mediante una bureta hasta obtener una tonalidad roja oscura, de manera que el color no cambie al agitar el matraz durante 1 min. Al dejar en reposo durante unos minutos el líquido debe permanecer rojo. Anote la cantidad agregada de NaOH de la bureta, aproximando a 0,2 ml.
- **10.** En base a los resultados de la titulación y usando la curva patrón (ver "Determinación de la Curva Patrón"), determine el porcentaje de cemento de cada muestra.

Determinación de la Curva Patrón

11. La curva patrón establece la relación entre la cantidad de hidróxido de sodio usada en la titulación y el porcentaje de cemento de una muestra, para un tipo particular de ácido, cemento y agua. Para establecer la curva se necesitan dos puntos; uno, deducido sobre la base de dos análisis independientes con 5% de cemento y el otro, sobre la base de dos ensayes en muestras sin cemento.

12. Procedimiento

- a) Determine el porcentaje de humedad, respecto al material más cemento, representativo de terreno para la BTC, a partir de muestras tomadas en el camino después del mezclado de áridos y cemento.
- b) Usando la Tabla S0703_1, seleccione el peso del agregado correspondiente a un 5% de cemento y a la humedad determinada anteriormente. Si la muestra de base se encuentra húmeda, haga las correcciones correspondientes.
- c) De los antecedentes granulométricos de terreno determine el valor representativo promedio del material que pasa por el tamiz 9,5 mm (3/8"), porcentaje que será considerado en la confección de las probetas. Elimine la fracción retenida en el tamiz de 40 mm y después corte el material en dos fracciones usando el tamiz de 9,5 mm (3/8").
 - Mediante los valores previamente obtenidos en este procedimiento, confeccione dos muestras que cumplan con las condiciones en él establecidas.
- d) Vacíe ambas muestras (agregado más cemento) a sendos recipientes plásticos de 2 l de apacidad y mézclelos en seco con una varilla de acero inoxidable. Agregue la cantidad de agua indicada en la Tabla S0703_1 y revuelva hasta homogeneizar la mezcla.
- e) Para simular las condiciones de terreno, deje la muestra en el recipiente cubierto con un trozo de plástico por un período de tiempo similar al requerido para obtener la muestra de terreno, transpórtela al laboratorio y prepárela para el ensaye. Normalmente este período no debe ser menor que 30 min. ni mayor que 90 min. Continúe con la determinación basándose en el procedimiento descrito en "Procedimiento de ensayo".
- f) Proceda a continuación con las muestras sin cemento, determinando de la Tabla 50703_2, en base a la humedad ya obtenida, las cantidades de agregado seco y agua. Con los pesos obtenidos confeccione dos muestras sin cemento.
- g) Vacíe los áridos y el agua de ambas muestras en sendos recipientes plásticos de 2 litros cada uno, mezcle, deje en reposo durante el tiempo más arriba especificado y proceda de acuerdo a 0.
- h) Finalmente, confeccione un gráfico similar al mostrado en la *Figura S0703_1 Figura 2*, en base a las determinaciones con y sin cemento. Este gráfico constituye la curva patrón para determinar el contenido de cemento de una BTC. Esta curva patrón, característica de las condiciones imperantes en el momento, recalcúlela todos los días y cada vez que existan cambios de los materiales y/o reactivos guímicos.

MÉTODO 2, MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN

Procedimiento de Ensayo

- 13. Tome 4 muestras de 3 Kg. cada una de BTC en terreno, usando el procedimiento especificado en el Anexo 2. Prepare a continuación muestras de 300 g tal como se describe en el "Procedimiento de ensaye" en el Metodo 1 y deposítelas en sendas cubetas plásticas de 2 litros de capacidad. Agregue a cada muestra 250 ml de agua potable y tome el tiempo. Agregue dos gotarios completos de solución de fenolftaleina (aprox. 40 gotas) a cada recipiente. La solución adquirirá un color rojo debido a la presencia de cemento. Pese cada muestra (con su cubeta) aproximando a 0,5 g.
- 14. Diez minutos después de haber agregado el agua, adicione la solución de ácido clorhídrico 3 N con la bureta de titulación, revolviendo continuamente. La dosis inicial de ácido depende de la cantidad de cemento que supuestamente contiene la mezcla y se determina en base a la diagonal superior de la *Figura S0703_1*.
- 15. Cuando reaparezca la coloración roja, después de la primera adición de ácido, agregue ácido por segunda vez usando buretas y en la cantidad indicada por la diagonal inferior de la *Figura S0703_1*.
- 16. Después de dar las primeras adiciones de ácido, continúe agregando ácido en las cantidades mínimas necesarias para hacer desaparecer la tonalidad roja y mantener la solución neutra, lo que requerirá de gran concentración por parte del operador. Además de la agitación inicial ejecutada durante la primera adición del ácido, haga pequeñas revolturas de 3 seg. de duración cada min. y una revoltura fuerte de 6 seg. de duración cada 5 min.
- 17. Continúe añadiendo ácido en las cantidades mínimas necesarias para mantener la solución neutra, hasta una hora después de haber agregado agua a la muestra (ver 13). Posteriormente pese al recipiente plástico aproximando a 0,5 g.
- **18.** Calcule y anote el peso total de ácido clorhídrico usado para neutralizar la solución, en base al peso inicial y final *(ver Figura S0703 2, Figura 3)*.
- **19.** Finalmente determine el porcentaje de cemento usando el valor obtenido en 18 y la curva patrón determinada en 20 y 210 *(ver Figura S0703_2).*

Determinación de la Curva Patrón

- 20. Son igualmente válidos para esta determinación los conceptos y fundamentos señalados en 11. Sin embargo, si una pequeña cantidad de muestra sin cemento tomará una coloración roja cuando se le agrega unas cuantas gotas de solución de fenolftaleina, esto revela la presencia de álcalis solubles en agua, por lo que debe hacerse también un ensaye con dos muestras gemelas sin cemento.
- 21. Procedimiento.
 - a) Confeccione las muestras de ensaye usando las proporciones indicadas en 12.
 - b) Realice el ensaye de Neutralización Constante siguiendo el procedimiento indicado en "Procedimiento de ensaye", teniendo la precaución de considerar un 5% de cemento para efecto de calcular las dos primeras adiciones de ácido en la *Figura S0703_1, Figura 1*, lo que corresponde a 2 l y 8 ml, respectivamente.
 - c) Finalizado los ensayes, determine la curva patrón en base a los gramos de ácido usado y el porcentaje de cemento para las muestras gemelas (5%). Debe considerar también las muestras sin cemento si fuese necesario (ver 20), tal como se ilustra en la *Figura S0703_2, Figura 3*.

d) Para dibujar la curva patrón trace una recta entre el origen del gráfico, o el promedio de las muestras sin cemento si correspondiera, y el resultado promedio de las 2 muestras con 5% de cemento. Esta curva será la referencia para determinar el contenido de cemento de muestras de BTC provenientes de terreno.

ANEXO 1 - REACTIVOS Y PRECAUCIONES

Ácido Clorhídrico (aprox. 3 N)

Mezcle cuidadosamente 5,5 Kg. de ácido clorhídrico concentrado p.a. con 15 l de agua potable en un bidón plástico de 20 l. Agregue el agua en incremento de 4 l, agitando el bidón vigorosamente después de cada adición hasta obtener una mezcla homogénea.

Hidróxido de Sodio (aprox. 1 N)

Para obtener 20 l de solución, siga las siguientes instrucciones:

- e) Use un segundo bidón de 20 l, disuelva 850 g de hidróxido de sodio en gránulos con 4 l de agua destilada a una temperatura de 45°C.
- f) Tape el bidón y agítelo vigorosamente durante un minuto.
- g) Agregue agua potable en incrementos de 4 l, agitando cada vez, hasta completar aprox. 20 l. La temperatura de la solución irá decayendo, hasta llegar a la temperatura del agua fría.
- h) Enfríe hasta temperatura ambiente, luego examine la solución mirando por la abertura del bidón, (previamente iluminado) y verifique que no existen partículas en suspensión. La presencia de partículas en suspensión obliga a preparar una nueva solución.

Indicador de Fenoftaleina (solución al 1%)

Disuelva 5 g de fenolftaleína en polvo U S P en 250 ml de etanol; a continuación diluya con 250 ml de agua destilada.

Arena Normal

Cuando no pueda obtener Arena Normal fácilmente, use microesferas de vidrio de las contenidas en las pinturas reflectantes para demarcación de pavimentos.

Precauciones

- a) Los operadores que preparen soluciones ácidas y básicas deben usar guantes adecuados, delantal y anteojos para protección y seguridad, debiendo ser personal entrenado en manipuleo de productos químicos.
- b) Mantenga los reactivos en botellas tapadas, cuando se estén usando, para evitar la evaporación, con la consiguiente pérdida de la concentración. Deben darse instrucciones precisas de que los envases de vidrios no podrán ser sustituidos por envases de plástico.
- c) No deben llevarse las soluciones cerca de la boca, aun después de realizado el ensaye.
- d) Estos ensayes no deben efectuarse por personas daltónicas o acromatopsias.
- e) El personal que realiza los ensayes debe saber que la fenolftaleina causa alergia a algunas personas y tiene un poderoso efecto laxante. No ingerir.

ANEXO 2 - MÉTODO DE MUESTREO EN TERRENO.

Generalidades

Este procedimiento permite el muestreo en terreno de muestras representativas de BTC. Cada muestreo deberá tener un propósito determinado, tal como controlar la eficiencia del mezclador, la relación entre el cemento y el alimentador de áridos o las variaciones en el contenido de cemento durante el día.

El tamaño de la muestra debe ser aprox. 3.000 g.

Procedimiento

- a) Muestreo en planta central. El procedimiento más adecuado en este caso es tomar el material después que ha sido extendido. Este muestreo verifica la eficiencia combinada del mezclador y la máquina extendedora. No obstante, si se encontrara una fuerte diferencia en los muestreos, deberán tomarse muestras adicionales de la planta para detectar el problema.
- b) Planta mezcladora continua. Considerando que en una planta continua se suministra la mezcla mediante una correa transportadora, las muestras deberán tomarse de la correa a intervalos de 5 a 10 minutos.
- c) Muestreo para comprobar las fluctuaciones en el contenido de cemento. Después de haber verificado que los equipos están funcionando satisfactoriamente, es importante tomar muestras ocasionalmente para comprobar la normal alimentación del cemento. Por lo tanto,tome muestras en la dirección del extendido, representando cada muestra un promedio de la sección transversal.

ANEXO 3

TABLA S0703_1 CANTIDADES DE MATERIAL NECESARIO PARA CONFECCIONAR MUESTRAS CON UN 5% DE CEMENTO

Humedad	Peso Seco del Agregado	Agua	Cemento
%	(g)	(ml)	(g)
5	271	15	13,6
6	270	17	13,5
7	267	20	13,3
8	265	22	13,2
9	263	24	13,1
10	260	27	13,0
11	257	30	12,9
12	255	32	12,8
13	252	35	12,6
14	250	37	12,5
15	249	39	12,4
16	247	41	12,3
17	244	44	12,2
18	242	46	12,1
19	240	48	12,0
20	238	50	11,9

TABLA S0703_2CANTIDADES DE MATERIAL PARA CONFECCIÓN DE MUESTRAS SIN CEMENTO

	Peso Seco del Agregado	Agua
(%)	(g)	(ml)
5	286	14
6	283	17
7	280	20
8	277	23
9	275	25
10	273	27
11	270	30
12	268	32
13	266	34
14	263	37
15	261	39
16	259	41
17	256	44
18	254	46
19	252	48
20	250	50

TABLA S0703_3DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO MÉTODO DE TITULACIÓN

	Determinación del Método de Ensaye					Determinación de Curva Patrón					
Ítem	Tipo de Muestra	Muestra N°	NaOH ml	Valores Control	Lugar de muestreo (km)	Curva N°	% Cemento	Muestra N°	NaOH		
٨	Arena	7	102,6	102,7	360	2	0	9	100,0		
A	Normalizada	8	102,9	102,7		2	0	10	101,5		
В	Agregado sin	9	100,0	100.0							
В	cemento	10	101,5	100,0	360	2	5	9	53,4		
С	A B Valor Pro	medio – Valor m	enor	27		2	5	10	52,6		
	Si C <	6 ml use Método	ol								
	SiC≥	6 ml use Método	ıll								

TABLA S0703_4 DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS EN TERRENO

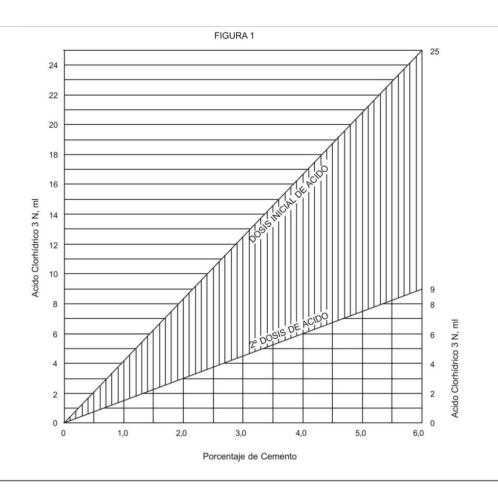
Lugar de Muestreo (I/D)	Tiempo Mezcla	Peso Muestra	Peso ret. 10 mm.	% pasa 10 mm.	Muestra N°	Peso del recipiente(g)		Na OH	% Cemento	Observ.
						Inicial	Final			
	830	4070	1470	36	1			67,4	3,5	
360(I)	830	4740	1700	36	2			64	3,9	Promedio: 3,9%
	830	4350	1840	42	3			61,4	4,1	
	830	4880	1840	38	4			61,6	4,1	
	950	3890	1650	42	5			53.6	5	
370(I)	950	4995	2175	44	6			61,4	4,1	Promedio: 4,4%
	950	3435	1775	52	7			59,6	4,3	
	950	3960	1895	48	8			60,6	4,2	
	1030	3550	1100	31	9			58,6	4,4	
380(I)	1030	3965	1825	46	10			49	5,5	Promedio: 5,0%
1,	1030	3600	1690	47	11			51,8	5,2	
	1030	340	1410	41	12			55	4,8	
	1340	4075	1550	38	13			55	4,8	
365(I)	1340	5280	2240	42	14			65,6	3,7	Promedio: 4,6%
1,	1340	5600	2260	40	15			53,6	5	
	1340	3235	1105	34	16			54,8	4,8	

TABLA S0703_5DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO MÉTODO DE TITULACIÓN

	Determinacio	ón del Método	de Ensaye	Determinación de Curva Patrón					
Ítem	Tipo de Muestra	Muestra N°	NaOH ml	Valores Control	Lugar de muestreo (km)	Curva N°	% Cemento	Muestra N°	HCL
- 110	.,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		110011111		Muestra de		,, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,		1.02
		3	94,4		Terreno	1	5	5	65,1
Α	Arena Normalizada	4	94,8	94,6			5	6	64,4
	Agregado sin	1	58,2						
В	cemento	2	61,6	58,2					
С	A B Valor Pr	romedio - Valor	menor						
	Si C <	6 ml use Métod	io I						
	SiC≥	: 6 ml use Métod	lo II						

TABLA S0703_6 DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TERRENO

Lugar de Muestreo (I/D)	Tiempo Mezcla	Peso Muestra	Peso ret. 10	% pasa 10 mm.	Muestra N°	Peso del recipiente(g)				Na OH	% Cemento	Observ.
			mm.			Inicial	Final					
Muestra tomada de correa		4280	3170	74	10	809	883	74,5	5,7			
transportadora a intervalos	835	4010	3050	76	11	814	893	79	6,1	Promedio: 6,0%		
de 30 s.		3815	2990	78	12	807	892	85	6,5			
		4435	3295	74	13	816	891	74,5	5,7			
Muestra tomada de correa		3600	2880	80	10	831	901	70,5	5,4			
transportadora a intervalos	1100	3775	3050	81	12	809	879	70	5,4	Promedio: 6,0%		
de 30 s.		4140	3470	84	13	809	880	71	5,4			
		3700	3005	81	14	812	898	86	6,6			
Muestra tomada de correa		5110	3910	77	10	811	876	65,5	5			
transportadora a intervalos	1350	4770	3690	77	12	813	884	71,5	5,5	Promedio: 6,0%		
de 30 s.		4060	2920	72	13	808	871	63	4,9			
		4270	3380	79	14	808	874	65,5	5,1			



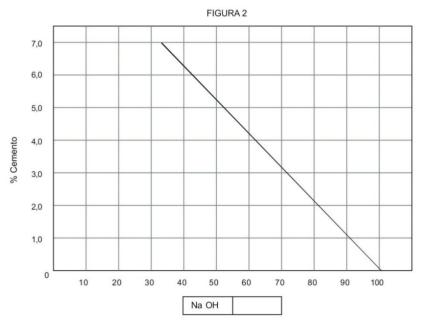


FIGURA S0703_1MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN Y TITULACIÓN

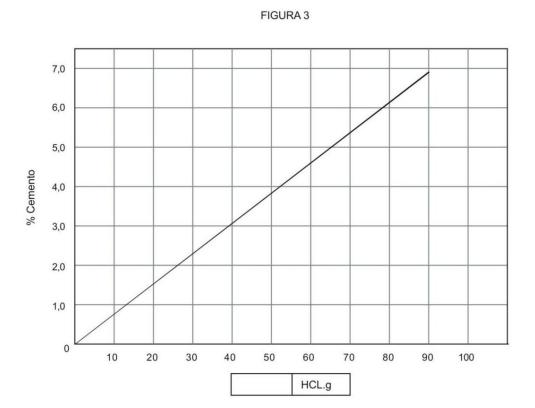


FIGURA S0703_2MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN Y TITULACIÓN

CAPÍTULO S0704.MÉTODO PARA EVALUAR EL USO DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS (ASTM D4601)

OBJETO

- a) Este método se aplica para evaluar la efectividad de los estabilizadores químicos en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos.
- b) La eficacia de estos productos se mide por comparación entre suelos tratados y no tratados mediante determinaciones de resistencia a la compresión no confinada, Razón de Soporte de California, relación humedad/densidad y módulo resiliente, entre otras pruebas.
- c) Dada la naturaleza y características de los productos químicos utilizados como estabilizadores, debe velarse por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.
- d) La principal aplicación de este procedimiento está en el mejoramiento de suelos naturales y/o la estabilización de capas de rodadura granulares, extendiéndose también su uso a estructuras de suelo del tipo base o subbase de pavimentos y para suelos que, de alguna manera, comprometan la sub-rasante de un camino.
- e) Esta norma se aplica a suelos tratados con aglomerantes tales como cemento y/o asfalto, en los porcentajes que determine el diseño, cuando los suelos a utilizar o los aglomerantes utilizados incorporen estabilizadores químicos como aditivos mejoradores de alguna propiedad.
- f) Este método no se aplica a los estabilizadores químicos, cal y ceniza.
- g) Este método es aplicable a mezclas íntimas y homogéneas de los productos utilizados con el suelo a tratar. Por tanto, no considera la utilización de estros productos como riegos superficiales.

DEFINICIONES

1. Estabilización de Suelos

Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físico-químicos.

2. Estabilización Mecánica

Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo, mediante procedimientos mecánicos.

3. Estabilización Química

Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo, mediante la incorporación de un compuesto químico.

4. Estabilizador de Suelos

Producto químico, natural o sintético, que por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

5. Propiedades de Desempeño

Corresponden a características de comportamiento del suelo desde el punto de vista de la ingeniería.

Nota 1: La evaluación de estas propiedades de desempeño se realiza mediante ensayos en laboratorio y/o terreno, definidos por los métodos que se indican en cada una de ellas.

6. Trabajabilidad

Facilidad para mezclar el suelo, colocarlo, enrasarlo y compactarlo.

GENERALIDADES SOBRE ESTABILIZADORES QUÍMICOS

Los estabilizadores químicos son básicamente productos aglomerantes. Pueden ser de dos tipos: iónicos o poliméricos. Los del tipo iónico están representados por sales solubles, mientras que los poliméricos por productos derivados del petróleo.

Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado.

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Todo producto estabilizador químico debe ir acompañado por los documentos siguientes:

Manual Informativo y Hoja de Datos de Seguridad. La información errónea o incompleta relativa salud y medio ambiente se considera como un no cumplimiento de este método y además, de exclusiva responsabilidad del productor y/o distribuidor del producto.

Nota 2: No obstante lo anterior, esta situación no exime la responsabilidad al administrador de obras quien debe exigir la certificación del producto de tal forma de verificar las características de éste y las condiciones en que se debe utilizar.

7. Manual Informativo

Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de un Manual Informativo, en que se haga especial referencia a los potenciales riesgos para la salud de las personas y el medio ambiente.

El Manual Informativo debe ser emitido por el fabricante y/o distribuidor, y debe contener a lo menos la información siguiente:

- a) Nombre del producto;
- b) nombre del fabricante o distribuidor;
- c) descripción del producto;
- d) composición química genérica;
- e) condiciones de manipulación;
- f) condiciones de transporte;
- g) condiciones de almacenamiento;
- h) condiciones y forma de utilización (proporciones, mezcla, tiempo de curado, etc.).

8. Hoja de Datos de Seguridad

Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de una Hoja de Datos de Seguridad de productos químicos (HDS). Análogamente y debido a los riesgosinherentes al transporte de estos productos, se debe acompañar una Hoja de Datos de Seguridad para Transporte (HDST).

Propiedades de Desempeño

- 9. En relación a las condiciones específicas de cada proyecto, se asume que la estabilización química de suelos puede cumplir funciones diferentes si ésta se aplica sobre una capa de rodadura (superficie de rodadura), una capa intermedia (base o subbase) o suelos de subrasante. De este modo, se considera que cada capa estructural tiene propiedades características que se pueden modificar mediante un estabilizador químico.
- **10. Las** propiedades de desempeño se evalúan en forma relativa, comparando los resultados de ensayes con y sin producto estabilizador, tanto en terreno como en laboratorio.
- 11. Los resultados de ensayes de laboratorio no garantizan necesariamente un comportamiento similar del producto en terreno. El desempeño in situ es el resultado más representativo de la eficacia del producto utilizado. También es conveniente señalar la importancia que reviste el diseño estructural, del camino por tratar, en el éxito de la aplicación.

12. La definición de los parámetros para un diseño en particular quedará a criterio del proyectista.

A modo de guía, se sugiere el siguiente conjunto mínimo de ensayes de laboratorio para materiales con y sin producto estabilizador:

- a) Clasificación del tipo de suelo según AASHTO.
- b) Curvas humedad densidad (Proctor).
- c) Capacidad de soporte (CBR).
- d) Comportamiento ante los cambios de humedad para la (s) propiedad (es) seleccionada (s) para el diseño.
- **13.** Las propiedades de desempeño dependen de un gran número de factores, difíciles de reproducir y/o evaluar tanto en el laboratorio como en terreno. La mejor manera de medir el desempeño mecánico y en particular la durabilidad del material tratado es a través de la prueba en terreno.

14. Informe Inicial

Los controles mínimos por realizar en laboratorio y terreno por parte del fabricante o proveedor del producto una vez terminada la construcción, son los siguientes:

Obligatorios

- e) Informe de ensayos de laboratorio.
- f) Memoria de cálculo del diseño de la aplicación.
- g) Dosis del producto por m3 de capa tratada.
- h) Densidad de la capa tratada.
- i) Espesores de la capa tratada.
- j) Registro de deficiencias, imprevistos y/o problemas observados durante la etapa de construcción.
- k) Antecedentes climáticos y pluviométricos del lugar.

Nota 3: El control de dosis del producto puede realizarse mediante medición directa en terreno.

Nota 4: El control de espesores puede hacerse mediante topografía, extracción de testigos, o bien durante la inspección al momento de tomar la densidad en terreno a través del cono de arena.

Optativos

- a) Rugosidad (IRI).
- b) Deflectometría.

Nota 5: La rugosidad puede controlarse mediante perfilómetro clase II o superior, o con un equipo del tipo de respuesta.

15. Informes Periódicos

Los controles periódicos para evaluar en el tiempo el comportamiento del producto en terreno se informarán con una frecuencia comprendida entre 1 y 3 meses, dependiendo de la envergadura del camino tratado y/o de los objetivos perseguidos:

Obligatorios

Inspección visual, que identifique y describa las fallas típicas más significativas como, por ejemplo, pérdida de material, calamina, baches, asentamientos, etc. Esta descripción deberá ser acompañada de una monografía que incluya un registro fotográfico en formato digital.

16. Ahuellamiento

Optativos

- a) Rugosidad (IRI).
- b) Deflectometría.
- c) Censo vehicular.

INFORMES DEL PROYECTO

17. Todos los informes de la aplicación deben incluir lo siguiente:

- a) Identificación del contrato.
- b) Nombre del producto.
- c) Procedencia del producto.
- d) Identificación del fabricante, proveedor o representante del producto.
- e) Fecha de entrega del informe.
- f) Cualquier otra información relativa a la aplicación.

18. Informe Inicial

Este informe debe contener un resumen de las experiencias en laboratorio con y sin producto, además de incluir los problemas constructivos de la obra y los resultados de los controles mínimos necesarios una vez terminada la construcción.

19. Informes Periódicos

El resultado del seguimiento del tramo tratado.

20. Informe Final

Se emitirá al concluir la vida útil de la aplicación del producto y corresponderá al último informe periódico elaborado a esa fecha. En este informe debe(n) incluirse la(s) causa(s) que explicaría(n) la falla prematura de la aplicación o la sobrevida, en caso que algunas de éstas ocurran.

CAPÍTULO S0705. RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D558)

OBJETO

Estos métodos se refieren a la determinación de la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo-cemento cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.

Se emplean para la compactación, un molde de 944 cm³ (1/30 pié³) y un martillo de 2,50 Kg. (5.5lbs) que cae desde una altura de 305 mm (12"), pero se siguen dos métodos de acuerdo con la granulometría del material:

- a) Método A, para muestras de suelo que pasan por el tamiz de 4,75 mm (No.4).Deberá emplearse este método cuando el 100% de la muestra del suelo pasa el
 mencionado tamiz (Véase los numerales 3 y 4).
- b) Método B, para muestras de suelo que pasan un tamiz de 19,0 mm (3/4").Deberá emplearse este método cuando parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4) (Véase los numerales 5 y 6).

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Molde

Deberá ser cilíndrico de paredes sólidas, fabricado con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas en la Figura S0705_1. Deberá tener un collar ajustable de aproximadamente 60 mm (2 3/8") de altura, que permita la preparación de especímenes compactados de mezclas de suelo cemento de la altura y volumen deseado.

El conjunto del molde y del collar deberá estar construido de tal manera que pueda ajustarse firmemente a una placa hecha del mismo material. Su diámetro será de 101,6 mm (4").

Nota 1: Pueden emplearse distintos tipos de molde, pero con la capacidad estipulada aquí, si al correlacionarse con los de los moldes de pared sólida, para diferentes clases de suelo, se obtienen los mismos resultados de relación humedad-peso unitario. Deberán mantenerse disponibles los registros de dicha correlación para el caso en que se desee efectuar una inspección.

2. Martillo

Puede ser operado manual o mecánicamente.

a) Operado manualmente.

Un martillo metálico que tenga una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm (2 ± 0.005 ") de diámetro, una tolerancia por el uso de 0.13 mm (0.005") que pese 2.495 ± 0.009 Kg. (5.50 ± 0.02 lb.). El martillo deberá estar provisto de una guía

apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de 304.8 ± 1.524 mm (12.0 ± 0.06 " ó 1/16") por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación, no menores de 9.5 mm (3/8") de diámetro espaciados aproximadamente a 90° (1.57 Rad.) y 19 mm (3/4") de cada extremo, y deberá tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

b) Operado mecánicamente

Un martillo de metal que esté equipado con un dispositivo para controlar la altura de caída del golpe hasta una altura libre de $304,8 \pm 1,524$ mm (12.0 ± 0.06 " ó 1/16") por encima del suelo y que distribuya uniformemente los golpes sobre la superficie de éste.

El martillo deberá tener una cara plana circular de 50.8 ± 0.127 mm (2.0 ± 0.005 ") de diámetro; una tolerancia por el uso de 0.13 mm (0.005") y un peso de fabricación de 2.495 ± 0.009 Kg. (5.50 ± 0.02 lb.).

Nota 2: El martillo mecánico deberá calibrarse con diferentes mezclas de suelo-cemento y su peso se ajustará, si fuere necesario, para que dé los mismos resultados de humedad-peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual. No es práctico calibrar el aparato mecánico en cada caída del martillo como el operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse para establecer el punto del impacto a partir del cual se determina la caída de 305 mm (12"). Los golpes siguientes sobre esta capa pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 305 mm (12") por encima de la altura inicial de asentamiento o, cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de una altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 305 mm (12"), medidos a partir de la altura del suelo compactado por el golpe previo.

c) Cara del martillo.

Deberá emplearse el martillo con cara circular pero podrá emplearse como alternativa, uno con cara de sector circular, el cual deberá tener una área igual a la de la cara circular. En el informe se indicará el tipo de cara usada cuando es diferente a la circular de 50,8 mm (2") de diámetro.

3. Extractor de muestras

Un gato, extractor, u otro dispositivo adecuado para sacar las muestras compactas del molde. No se necesita cuando se utilizan moldes de tipo partido.

4. Balanzas y básculas

Una balanza de capacidad de por lo menos 11,3 kg (25 lb) con precisión de 5 g (0.01 lb); y una balanza de al menos 1000 g de capacidad, con precisión de 0,1 g.

5. Horno

Un horno termostáticamente controlado, que pueda mantener una temperatura de 110 \pm 5°C(230 \pm 9°F).

6. Regla metálica

Una regla de acero endurecido, al menos de 254 mm (10") de largo; deberá tener un bordebiselado y una cara plana en sentido longitudinal.

Nota 3: El borde biselado podrá usarse en el alisamiento final si se conserva dentro de una tolerancia del 0,1% de longitud; sin embargo, con el uso continuado, el borde cortante podrá desgastarse excesivamente en cuyo caso no sería adecuado para alisar el suelo hasta el nivel del molde. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se alise el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la muestra.

7. Tamices de 75, 19,0 y 4,75 mm (3", 3/4", y No.4).

8. Herramientas para mezcla

Herramientas varias como cucharas, espátulas, cazuelas, o un dispositivo mecánico para mezclar las muestras de suelo con diferentes cantidades de agua.

9. Recipientes

Una cazuela plana, redonda para absorción de humedad para mezcla de suelo-cemento de alrededor de 300 mm (12") de diámetro y 50 mm (2") de profundidad.

10. Latas para humedad

Recipientes metálicos o de otro material, con tapa, para evitar la pérdida de humedad antes y durante el pesaje.

11. Cuchillo de aproximadamente 250 mm (10") de longitud, para recortar la parte superior del espécimen.

METODO A. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 4,75 MM (NO.4)

Muestra

Prepárese la muestra para ensayo disgregando los terrones del suelo para que pase tamiz de 4,75 mm (No.4), pero de tal manera que se evite la reducción del tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, séquese primero la muestra hasta cuando sea friable con un palustre. El secamiento puede hacerse al aire o mediante el empleo de aparatos de calentamiento siempre y cuando la temperatura de la muestra no exceda de 60° (140°F).

13. Escójase una muestra representativa, que pese aproximadamente 2,75 Kg. (6 lbs) o más del suelo preparado, como se describió en el numeral 14.

Procedimiento

14. Agréguese al suelo, de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento. Mézclese completamente hasta lograr un color uniforme. Cuando sea necesario, agréguese suficiente agua para humedecer la mezcla aproximadamente con cuatro o seis puntos de porcentaje por debajo de la humedad óptima y mézclese completamente. Con esta humedad, una muestra de suelos plásticos, exprimidos en la palma de la mano, formará una pasta que se fracturará con una ligera presión aplicada por el pulgar y las puntas de los dedos; los suelos no plásticos se abultarán notablemente.

Cuando el suelo sea arcilloso de textura pesada, (grasa), la mezcla de suelo-cemento y agua se compactará dentro de la cazuela plana hasta tener un espesor más o menos de 50 mm (2"), empleando el martillo manual descrito en el numeral 4 o un martillo similar. Cúbrase, y déjese reposar la mezcla, por un período entre 5 y 10 minutos, para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa. Después disgréguese completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta que pase por el tamiz de 4,75 mm (No.4) y vuélvase a mezclar.

Fórmese un espécimen compactando en el molde con el collar ajustado, usando la mezcla preparada de suelo cemento, en tres capas iguales, logrando una profundidad total compacta de alrededor de 125 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes del martillo, usado en el ensayo Proctor estándar.

Los golpes deberán distribuirse uniformemente sobre la superficie de la capa que se está compactando, y el molde deberá permanecer sobre una fundación uniforme y rígida (Nota 4).

Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente la parte superior de la probeta por medio del cuchillo de borde recto y pésese con precisión de 0,004 Kg. (0.01 lb.), multiplíquese el peso del suelo compactado (menos el peso del molde) por 30; regístrese el resultado como el Peso Húmedo por unidad de volumen W1 en kg/m³ de la mezcla de suelo-cemento compactado.

Nota 4: Una base satisfactoria para apoyar el molde durante la compactación del suelo, puede ser un bloque de concreto que pese más de 90,2 kg (200 lb) soportado por una fundación relativamente estable, un piso sólido de concreto, y para el campo, superficies como las halladas en alcantarillas, puentes y pavimentos.

16. Extráigase la probeta del molde y córtese verticalmente a lo largo de su eje. Tómese una muestra representativa que pese como mínimo 100 g, secándola en un horno a $110 \pm 5^{\circ}$ C

- (230 ± 9°F) hasta peso constante. Calcúlese la humedad y anótese el resultado como la humedad a la mezcla de suelo cemento compactado.
- 17. Disgréguese completamente la parte remanente del espécimen moldeado hasta que a simple vista se considere que el material pasa por el tamiz de 4,75 mm (No.4) e intégrese con la parte restante de la muestra que se está ensayando. Agréguese agua en suficiente cantidad para aumentar el contenido de humedad de la mezcla de suelo-cemento en uno o dos puntos de porcentaje, mézclese, y repítase el procedimiento dado en los numerales 17 y 18 para cada incremento de agua. Continúese esta serie de determinaciones hasta cuando haya una disminución o no haya cambio en el peso húmedo por unidad de volumen, W1 en kg/m³ de la mezcla de suelo-cemento compactada.

Nota 5: En la mayoría de los casos este procedimiento ha sido hallado satisfactorio. Sin embargo, en casos en los cuales el material es de carácter frágil y se reduce significativamente el tamaño de las partículas, debido a la compactación, muestras diferentes y separadas deberán emplearse para cada determinación de humedad-peso unitario.

METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 19,00 MM.(3/4")

Muestra

- 18. Prepárese la mezcla para ensayo, separando el agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4) y rompiendo los terrones del suelo restante, para que pasen por dicho tamiz, evitando reducir el tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, séquese la muestra hasta que sea friable con un palustre. El secamiento puede hacerse al aire o mediante el empleo de un aparato secador siempre y cuando la temperatura aplicada no exceda de 60°C (140°F).
- Pásese el suelo preparado, por los tamices de 75 mm (3"), 19,0 mm (3/4"), y 4,75 mm (No.4) y descártese el material retenido en el tamiz de 75 mm (3"). Determínese el porcentaje de material, por peso seco al horno, retenido en los tamices de 19,0 mm (3/4") y 4,75 mm (No.4). Satúrese el agregado que pasa por el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que queda retenido en el de 4,75 mm (No.4), empapándolo en agua; séquese la superficie como sea requerido para ensayos posteriores.

Nota 6: La mayoría de especificaciones de construcción de suelo-cemento que cubren la granulometría del suelo limitan el tamaño máximo del material a 75 mm (3") o menos.

20. Escójanse y manténganse separadamente muestras representativas del suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4) y de agregado saturado con superficie seca, que pasan el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que quedan retenidos en el de 4,75 mm (No.4), de manera que la mezcla total pese aproximadamente 5 kg (11 lbs) o más. El porcentaje, en peso secado al horno, del agregado que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4") y que queda retenido en el de 4,75 mm (No.4) deberá ser el mismo que el porcentaje que pasa tamiz de 75 mm (3") y que queda retenido en el de 4,75 mm (No.4) de la muestra original. Una vez hecho el reemplazo respectivo, únanse las porciones separadas formando la mezcla total.

Procedimiento

- 21. Agréguese el cemento, a la porción de la muestra de suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4), en la cantidad requerida, según diseño, por la mezcla total especificada en el numeral 22. Mézclese completamente hasta llegar a un color uniforme. Cuando sea necesario, agréguese agua a esta mezcla de suelo-cemento y facilítese la dispersión de la humedad como se describe en el numeral 16 del Método A. Después de esta preparación adiciónese el agregado saturado con superficie seca, a la mezcla de suelo cemento y mézclese completamente.
- Fórmese un espécimen, compactando la mezcla del suelo-cemento preparada, en el molde con el collar colocado; recórtese y pésese el espécimen compactado como se describe en el numeral 17 para el Método A. Durante la operación de recorte remuévanse todas las partículas que sobresalgan por encima del nivel superior del molde. Corríjanse todas las irregularidades en la superficie apisonando a mano material fino dentro de dichas irregularidades y nivelando nuevamente el espécimen con el cuchillo de borde recto. Multiplíquese el peso del espécimen compactado (menos el peso del molde), por 30; regístrese el resultado como peso húmedo por unidad de volumen, W1 en kg/cm³, de la mezcla de suelo-cemento compactado.
- 23. Remuévase el material del molde y tómese una muestra para determinar la humedad, como se describe en el numeral 18 para el Método B, excepto que esta muestra no deberá pesar menos de 500 g. Regístrese el resultado como la humedad w, de la mezcla de suelo-cemento compactado.
- 24. Rómpase completamente el material como antes, hasta que a simple vista se considere que pasa un tamiz de 19,0 mm (3/4") y que un mínimo del 90% de las partículas menores de 4,75 mm (No.4) pasan tamiz de 4,75 mm (No.4), y agréguese todo el material remanente después de obtener la humedad de la muestra. Adiciónese agua suficiente para aumentar la humedad de la mezcla de suelo-cemento en uno o dos puntos de porcentaje, mézclese y repítase el procedimiento descrito en los numerales 23 y 24, por cada incremento de agua.

Continúese esta serie de determinaciones, hasta cuando haya una disminución o no haya cambio en el peso húmedo por unidad de volumen, w1, en kg/m³ de la mezcla compactada de suelo-cemento (Véase la Nota 5).

CÁLCULOS

25. Calcúlese la humedad y el peso secado al horno por unidad de volumen, en kg/m³ de mezcla de suelo-cemento compactado para cada prueba en la siguiente forma:

$$w = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$
$$W = \frac{W_1}{w + 100} \times 100$$

Donde:

w = Porcentaje de humedad en la muestra

A = Peso del recipiente para humedad y del suelo-cemento húmedo
 B = Peso del recipiente para humedad y del suelo-cemento seco

C = Peso del recipiente para humedad.

W = Peso seco en el horno en kg/m³ del suelo-cemento compactado.

W₁ = Peso húmedo en kg/m³ del suelo compactado.

RELACIONES DE HUMEDAD-PESO UNITARIO

26. Los cálculos del numeral 7 deberán hacerse para determinar la humedad y el correspondiente peso secado al horno en kg/m³ para cada una de las muestras de suelocemento compactado. Los pesos secados al horno, en kg/m³ de mezcla de suelo-cemento se dibujarán como ordenadas y las humedades correspondientes, como abscisas.

27. Humedad óptima

Cuando se hayan determinado los pesos unitarios y las correspondientes humedades, como se indica en el numeral 28, se dibujará una curva que una los puntos correspondientes con una línea suave. La humedad que corresponda al pico de la curva se denomina "humedad óptima" de la mezcla de suelo-cemento bajo la compactación prescrita en estos métodos.

28. Peso unitario máximo

El peso secado al horno, en kg/m³ (lb/pie³) de la mezcla de suelo-cemento que corresponda al contenido de humedad óptimo se llamará peso unitario máximo bajo la compactación prescrita en este método.

INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- d) El contenido de humedad óptimo.
- e) El peso unitario máximo.

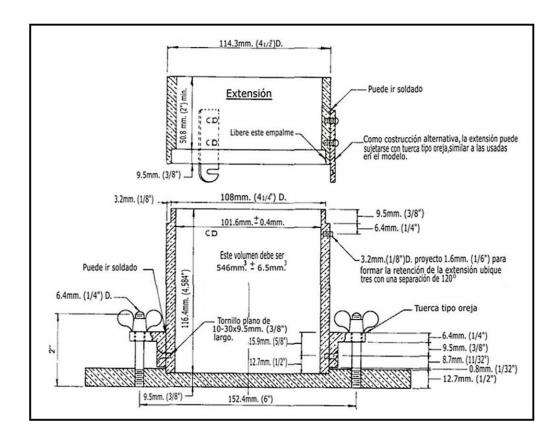


FIGURA S0705_1MOLDE CILÍNDRICO

CAPÍTULO S0706. HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS (ASTM D559 AASHTO T135)

OBJETO

Estos métodos de ensayo se refieren a procedimientos para determinar las pérdidas del suelo cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secamiento repetido de especímenes endurecidos de suelo cemento. Los especímenes son compactados en un molde, antes de la hidratación del cemento, hasta peso unitario máximo con el contenido óptimo de humedad, empleando los procedimientos de compactación descritos en el ensayo para la determinación de las relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo cemento, *Método S0705*.

Se prevén dos métodos según la granulometría del suelo, para la preparación del material para moldear los especímenes, aplicando los mismos criterios de los métodos A y B del ensayo del *Método S0705*.

EQUIPOS Y MATERIALES

- 1. Para el presente ensayo se utilizan los mismos equipos requeridos por el *Método S0705 (Ver Figura S0705_1 del Método S0705).* Adicionalmente, se necesitan los que se describen a continuación.
- 2. Un horno termostáticamente controlado que pueda mantener temperaturas de 71°C \pm 3°C (160 \pm 5°F) para secado de los especímenes compactados.
- 3. Cámara húmeda Una cámara húmeda o un recipiente cubierto que pueda mantener una temperatura de 21 \pm 1,7°C (70 \pm 3°F) con una humedad relativa del 100% para un almacenamiento de 7 días de los especímenes compactados.
- **4.** Baño de agua Cantidad adecuada para sumergir especímenes compactados en el agua a la temperatura ambiente.
- 5. Cepillo de cerdas de alambre
 Un cepillo de cerdas de alambre calibre 20 de 50 por 1,6 mm (2" por 1/16") compuesto por
 50 grupos de 10 cerdas cada uno y montados para que formen 5 filas longitudinales y 10 filas
 transversales de cerdas sobre un bloque de madera dura de 191 por 64 mm (7½ por 2½").

- **6.** Escarificador
 - Un punzón o aparato similar para remover el plano liso de la primera y segunda capa del espécimen.
- **7.** Dispositivo de medida
 - Un dispositivo adecuado para la medición precisa de las alturas y diámetros de los especímenes de ensayo con precisión de 0,25 mm (0.01").
- **8.** Bandejas y soportes adecuados para el manejo de materiales.
- **9.** Una probeta de vidrio con 250 ml de capacidad para medir agua.

METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75 MM (NO.4)

Preparación del material para el moldeo de especímenes

- Prepárense las muestras de suelo de acuerdo con los procedimientos descritos en el Método A del ensayo para las relaciones de humedad-peso unitario de mezclas de suelo-cemento Método S0705.
- **11.** Escójase una cantidad suficiente de suelo preparado como se indicó en el numeral 12 para proporcionar dos muestras compactadas (Nota 1) y las muestras requeridas para determinación de la humedad.
 - **Nota 1:** Usualmente sólo un espécimen (identificado con el No.2) se necesita para ensayos de rutina; el otro espécimen (identificado con el No.1) se emplea para investigaciones y ensayos de suelos poco usuales.
- **12.** Agréguese al suelo de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento. Mézclese el cemento y el suelo completamente hasta lograr un color uniforme.
- Agréguese suficiente agua para llevar la mezcla a su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación y mézclese completamente. Cuando el suelo que se emplea sea de textura arcillosa pesada (grasa), compáctese la mezcla de suelo, cemento y agua en la cazuela plana hasta tener un espesor de alrededor de 50 mm (2") empleando el martillo del ensayo Próctor estándar o un martillo de mano similar; cúbrase y déjese en reposo entre 5 y 10 minutos para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa. Después, disgréguese completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta cuando a simple vista se note que pase por el tamiz 4,75 mm (No.4) y vuélvase a mezclar.

Moldeo de especímenes

14. Fórmese un espécimen compactando la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado), y recórtese la superficie del espécimen de acuerdo con el Método A del *Método S0705*; adicionalmente escarifíquense las partes superiores de la primera y segunda capa para romper planos lisos de compactación, antes de colocar y compactar las capas subsiguientes. Esta escarificación deberá formar ranuras en ángulos rectos una de otra de aproximadamente de 3,2 mm (1/8") de ancho, 3,2 mm (1/8") de profundidad y de 6,4 mm (¼") de separación.

Durante la compactación tómese de una bachada una muestra representativa de la mezcla de suelo cemento, que no pese menos de 100 gramos, pésese inmediatamente y séquese en el horno a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) por lo menos durante 12 horas, o hasta peso constante. Calcúlese el porcentaje de humedad como se prescribe en el *Método S0705* para comprobar que está en el óptimo.

- **15.** Pésense el espécimen compactado y el molde, extráigase el espécimen del molde, y calcúlese el peso secado al horno de cada espécimen en kg/m³ (libras por pie cúbico), para comprobar el peso unitario del diseño.
- 16. Identifíquese el espécimen con un membrete metálico (u otro dispositivo adecuado) como No.1 (Nota 1), juntamente con otras marcas de identificación necesarias, y empléense para obtener datos sobre cambios de humedad y de volumen durante el ensayo.
- 17. Fórmese un segundo espécimen tan rápidamente como sea posible y determínese el porcentaje de humedad y el peso unitario secado al horno como se describió en los numerales 14 y 15. Identifíquese este espécimen como el No.2 conjuntamente con otras marcas de identificación necesarias y empléese para obtener datos sobre las pérdidas del suelo cemento durante el ensayo.
- **18.** Determínese el diámetro y la altura promedio del espécimen No. 1 y calcúlese su volumen.
- 19. Colóquense los especímenes en dispositivos adecuados en la cámara húmeda y protéjanse del agua libre durante un período de 7 días. Pésese y mídase el espécimen No.1 al final del almacenamiento de 7 días para obtener datos para el cálculo de su contenido de humedad y del volumen (Nota 2).
 - **Nota 2:** Es importante que todas las medidas de altura y diámetro se hagan con precisión de 0,25 mm (0.01") y que sean tomadas en los mismos puntos sobre el espécimen en todo momento.

Procedimiento

- 20. Al final del período de almacenamiento en la cámara húmeda, sumérjanse los especímenes en agua, a temperatura ambiente durante un período de 5 horas. Luego, pésese y mídase el espécimen No.1 (cambio de volumen y humedad del espécimen).
- **21.** Colóquense ambos especimenes en un horno a 71 ± 3°C (160 ±5°F) durante 42 horas y remuévanse.

Pésese y mídase el espécimen No.1. Dénse dos pasadas firmes al espécimen No.2 (espécimen para la pérdida de suelo cemento) sobre toda su área, con el cepillo de alambre. El cepillo deberá mantenerse con su eje longitudinal paralelo al eje longitudinal del espécimen o paralelo a los bordes, como sea necesario, para cubrir toda su superficie. Aplíquense esas pasadas con un golpe firme que corresponda aproximadamente a 13,3 N (3 lbf) (Nota 5).

Se requerirán de 18 a 20 pasadas verticales con el cepillo para cubrir los lados del espécimen y cuatro pasadas sobre cada extremo.

Nota 3: Esta presión se mide de la siguiente forma: Colóquese el espécimen en la posición vertical sobre el borde de una balanza de plataforma y póngase la balanza en cero. Aplíquense los golpes de cepillado verticales al espécimen y nótese la fuerza para registrar aproximadamente 13,3 N (3 lb).

- 22. Los procedimientos descritos en los numerales 22 y 23 constituyen un ciclo (48 horas) de humedecimiento y secamiento. Sumérjase de nuevo el espécimen en agua y continúese el procedimiento durante 12 ciclos (Nota 4). El espécimen No.1 podrá descontinuarse antes de los 12 ciclos si las medidas llegan a hacerse imprecisas debido a pérdidas de suelo-cemento del espécimen (Nota 5).
 - **Nota 4:** Cuando se efectúan investigaciones o estudios especiales, las determinaciones del peso del espécimen No.2 antes y después del cepillado se hace generalmente al final de cada ciclo.
 - **Nota 5:** Si no es posible correr ciclos continuamente a causa de Domingos, fiestas o por cualquier otra razón, manténgase el espécimen en el horno durante el tiempo de receso, si fuere posible.
- 23. Después de los 12 ciclos de ensayo, séquense los especímenes hasta peso constante a 110 \pm 5°C (230 \pm 9°F) y pésense para hallar su peso secado al horno.

24. Los datos recogidos permitirán cálculos de cambios de volumen y peso unitario del espécimen No.1 así como las pérdidas de suelo-cemento del espécimen No.2 después de los ciclos de ensayo.

METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 19,0 MM (3/4")

Preparación del material para el moldeo de especímenes

- **25.** Prepárese la muestra de suelo de acuerdo con el Método B del **Método S0705**, del ensayo para las relaciones de humedad-peso unitario de mezclas de suelo-cemento.
- Escójanse y manténganse separadamente muestras representativas de suelo que pasa tamiz de 4,75 mm (No.4) y de agregado saturado con superficie seca que pasa tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en el de 4,75 mm (No.4), de manera que la muestra total sea suficiente para proporcionar (véase la Nota 1) dos (2) especímenes compactados más las muestras requeridas para determinación de la humedad. El porcentaje en peso secado al horno, del agregado que pasa el tamiz de 19,00 mm (3/4") y que queda retenido en el de 4,75 mm (No.4) deberá ser el mismo que el porcentaje que pasa el tamiz de 75 mm (3") que queda retenido en el de 4,75 mm (No.4) de la muestra original. Una vez efectuado el reemplazo requerido, únanse las porciones, formando la mezcla total.
- 27. Agréguese a la porción de muestra que pasa tamiz de 4,75 mm (No.4), la cantidad de cemento, requerida según diseño, para la muestra total especificada en el numeral 28. Mézclese completamente el cemento y el suelo hasta lograr un color uniforme.
- 28. Agréguese agua suficiente para llevar la mezcla total de suelo-cemento hasta su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación, facilitándose la dispersión de humedad como se prescribe para el Método A, en el numeral 15.
- **29.** Después de preparada la mezcla como se describió en los numerales 27 a 30, agréguese a la mezcla el agregado grueso saturado, con superficie seca, y mézclese completamente.

Especímenes moldeados

30. Fórmese un espécimen compactando la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado) y recórtese la superficie del espécimen, de acuerdo con el Método B del Método S0705, pero clavando repetidamente un cuchillo doméstico en cada capa colocada, antes de ser compactada, a fin de obtener una distribución uniforme del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), y escarificando la parte superior de la primera y segunda capa como se describe en el numeral 16 del Método A. Durante la compactación, tómese de una bachada una muestra representativa de suelo cemento que no pese menos de 500 g, pésese inmediatamente, y séquese en un horno a 110 ± 5°C (230 ± 9°F) por un mínimo de 12 horas o hasta peso constante, para determinar la humedad de ensayo y comprobar la humedad de diseño. Fórmese, tan rápidamente como sea posible, un segundo espécimen, de la misma manera que el primero.

31. Pésese cada espécimen compactado para verificar la densidad de diseño, identifíquese y mídase el espécimen No.1 (Nota 1), colóquese en el cuarto húmedo, y mídase de nuevo el espécimen No.1 al final del período de almacenamiento de 7 días, como se describe en los numerales 17 a 21. (Nota. 2).

Procedimiento

32. Procédase como se indicó en el "Procedimiento", Método A.

CÁLCULOS

- **33.** Calcúlense los cambios de volumen y humedad y las pérdidas de los especímenes, en la siguiente forma:
 - Calcúlese la diferencia entre el volumen del espécimen No.1 en el momento del moldeo y los volúmenes subsiguientes como un porcentaje de volumen original.
 - Calcúlese el contenido de humedad del espécimen No.1 en el momento del moldeo y los subsiguientes contenidos de humedad como un porcentaje del peso del espécimen original secado en el horno.
 - Corríjase el peso seco al horno del espécimen No.2, obtenido en 25, por el agua que ha reaccionado con el cemento y el suelo durante el ensayo y que es retenida en el espécimen a 110°C (230°F), así:

Peso seco al horno corregido = $(A/B) \times 100$

Donde:

A = Peso secado al horno a 110°C (230°F).

B = Porcentaje de agua retenida en el espécimen + 100.

El porcentaje de agua retenida en el espécimen No.2 después de secamiento a 110°C para emplear en la fórmula de arriba puede suponerse igual al agua retenida en el espécimen No.1.

Cuando no se moldean los especimenes No.1, no se dispone de los datos precedentes y se emplearán los valores promedios prescritos en la *Tabla S0706_1*.

TABLA S0706_1 VALORES PROMEDIO DE AGUA RETENIDA

Clasificación del suelo según AASHTO	Promedio de agua retenida después de secamiento a 110°C, %
A-1, A-3	1,5
A - 2	2,5
A - 4, A - 5	3,0
A - 6, A - 7	3,5

Calcúlese la pérdida de suelo-cemento del espécimen No.2 con un porcentaje del peso original del espécimen secado al horno, así:

Pérdida de suelo cemento, % = (X/Y) x 100

Donde:

X = Peso original secado al horno calculado menos peso final corregido, secado al horno.

Y = Peso original calculado secado al horno.

INFORME

El informe debe incluir:

- -Humedad óptima de diseño y peso unitario máximo de los especímenes moldeados.
- -Humedad y peso unitario logrados en los especímenes moldeados.

Nota 6: Una buena práctica de laboratorio permite la tolerancia siguiente entre los factores de diseño y los obtenidos en especímenes moldeados.

- -Humedad ± 1%.
- -Peso unitario ± 48 kg/m³ (3 lb/pie³).

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

- -El contenido de cemento de diseño, en porcentaje, en especímenes moldeados.
- -El contenido de cemento, en porcentaje, obtenido en especímenes moldeados.
- -El máximo cambio de volumen, en porcentaje, y el contenido máximo de humedad durante el

ensayo del espécimen No.1.

-La pérdida del suelo cemento, en porcentaje, del espécimen No.2.

CAPÍTULO S0707. PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1632)

OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Molde

(Figura S0707_1)- El molde para preparación de la probeta de suelo-cemento debe tener diámetro interior de 71,13 \pm 0,01 mm (2.8" \pm 0.01") y altura de 229 mm (9"), para moldear especímenes de 71,1 mm (2.8") de diámetro y 142,2 mm (5.6") de altura. Los accesorios del molde deben ser los siguientes: dos pistones (superior e inferior), de acero maquinado, de diámetro menor en 0,13 mm (0.005") que el del molde; una extensión del molde de 152 mm (6") de largo; un anillo espaciador; al menos dos discos separadores, de aluminio, de 1,54 mm (1/16") de espesor y 70,6 (2.78") de diámetro.

2. Tamices

Se utilizarán los tamices de: 50 mm (2"), 19,0 mm (3/4"), 4,75 mm (No.4) y 1,18 mm (No.16).

3. Balanzas

Una balanza de 12 Kg. (25 lb.) de capacidad, con precisión de 5 g (0.01 lb) y una balanza de 1000 g de capacidad con precisión de 0,1 g.

4. Horno de Secado

Será de control termostático, capaz de mantener una temperatura de aproximadamente 110 \pm 5°C (230 \pm 9°F).

5. Aparato de Compactación

Puede ser una máquina de compresión o un marco de compresión con capacidad suficiente para aplicar 270 kN (60.000 lbf) aproximadamente, o también una máquina de compactación por impacto, con un dispositivo controlador del peso de caída, el cual debe ser de unos 7 kg (15 lb).

6. Extractor de la probeta compactada

Está compuesto de pistón, prensa y armazón, necesarios para extraer la muestra compactada, sin dañarla, por extrusión.

7. Elementos varios

Palustre, espátula, recipiente de mezcla o mezcladora, recipiente graduado para medir el agua, latas para medición del contenido de humedad, etc.

8. Varilla compactadora

Varilla de acero, lisa, de diámetro 12,7 mm (%"), longitud de 510 mm (20") y con extremos de corte recto.

9. Cámara húmeda

Debe ser capaz de mantener una temperatura de $23.0 \pm 1^{\circ}$ C ($73.4 \pm 2.0^{\circ}$ F) y una humedad relativa no menor del 96% para el curado húmedo de las probetas.

PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

- **10.** Colóquense los materiales a la temperatura ambiente, preferiblemente entre 18° y 24°C (65 a75°F), antes de comenzar la preparación.
- 11. Guárdese el cemento en un lugar seco, en recipientes a prueba de humedad, preferiblemente de metal. Mézclese cuidadosamente el cemento con el fin de obtener una muestra homogénea. Pásese el cemento a través del tamiz No.16 (1,18 mm) y descártese el material retenido (terrones, grumos).
- **12.** El agua de mezcla deberá ser potable.
- 13. Séquese la muestra de suelo, si está húmeda, hasta que se note friable al introducir en ella la espátula. El secado debe ser al aire o con un aparato de secado, siempre y cuando la temperatura no exceda de los 60°C (140°F). Desháganse cuidadosamente los grumos de suelo, respetando el tamaño natural de las partículas individuales.
- Tamícese una cantidad adecuada de este suelo pulverizado, que sea representativa de él, empleado los tamices de 50 mm (2"), 19,0 mm (3/4") y 4,75 mm (No.4).

 Descártese cualquier agregado retenido en el tamiz de 50 mm (2"). Remuévase el agregado retenido en el tamiz de 19,0 mm (3/4"), para reemplazarlo por una cantidad igual, en peso, de material que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que es retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4).

Este material de reemplazo debe ser obtenido a partir de la muestra original.

Nota 1: La probeta de suelo-cemento que se preparará, estará hecha preferiblemente con suelo que tenga un porcentaje retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4) no superior al 35% y un porcentaje retenido en el tamiz de 425 μ m (No.40) no superior al 85%.

- 15. Remójese el material que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que se retuvo en el tamiz No.4, por espacio de 24 horas, y luego séquese superficialmente. Determínense sus propiedades de absorción.
- Tómese una muestra de 100 g del suelo que pasa el tamiz No.4 y séquese al horno hasta obtener peso constante; determínese el contenido de humedad de la muestra, dato que permitirá calcular la cantidad de agua que deberá ser agregada a la mezcla de suelocemento.
- 17. Con una porción representativa del material que pasa el tamiz No.4, y otra de la fracción que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que es retenida en el No.4, preparadas según los numerales 14, 15 y 16., prepárese una muestra de mezcla total cuyo tamaño sea suficiente para elaborar tres probetas de suelo-cemento.

PESAJE

18. Pésense con precisión de 5 g (0.01 lb.), las cantidades diseñadas de suelo que pasa el tamiz No.4 y de suelo comprendido entre los tamices de 19,0 mm (3/4") y No.4. Pésese con precisión de 1 g la cantidad diseñada de cemento y mídase la cantidad diseñada de agua, con precisión de 1 ml.

Nota 2: Las cantidades diseñadas de suelo, cemento y agua se basan usualmente en resultados obtenidos de otros ensayos: el contenido "óptimo" de agua de la mezcla y la "máxima" densidad a la cual la probeta debe ser compactada se determinan mediante el *Método S0705*; la cantidad de cemento es usualmente la necesaria para producir suelo-cemento de calidad adecuada para construcción de vías y bases. Esta cantidad de cemento, es indicada por el criterio establecido para interpretar los resultados obtenidos del *Método S0706*.

MEZCLA

19. General

La mezcla de suelo-cemento, hecha a mano o mediante una mezcladora, debe proporcionar bachadas, cada una con un 10% en exceso de la necesaria para el moldeo de las probetas. Protéjase éste material contra pérdida de humedad; pésese una porción representativa, séquese al horno y determínese la humedad real. Cuando la mezcla de suelo-cemento contenga agregado retenido en el tamiz No.4, la porción para determinar la humedad debe pesar al menos 500 g, con precisión de 1 g; si no tiene agregado retenido en el tamiz No.4, debe pesar al menos 100 g, con precisión de 0,1 g.

Mezcla a mano

- **20.** Mézclese la bachada en un recipiente metálico limpio y no absorbente, o sobre una plancha de acero, con ayuda de un palustre, de la siguiente manera:
 - a) Mézclese el cemento y el suelo, menos el material retenido en el tamiz No.4, hasta lograr una distribución uniforme.
 - b) Agréguese el agua y mézclese, hasta lograr una pasta uniforme.
 - c) Añádase el material grueso secado superficialmente y mézclese hasta que se distribuyauniformemente dentro de la pasta.

21. Mezcla mecánica

Sígase la secuencia especificada para mezcla a mano. Para evitar segregación, deposítese la cantidad así mezclada en un recipiente metálico, limpio y no absorbente, y vuélvase a mezclar, pero manualmente con ayuda del palustre.

Nota 3: La operación de mezcla y compactación de las probetas debe ser continua, y el tiempo transcurrido entre la adición del agua y la compactación final, no debe exceder los 30 minutos.

TAMAÑO DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

22. La probeta debe tener forma cilíndrica, con una altura igual al doble del diámetro. En este método se preparan probetas de 71 mm (2.8") de diámetro por 142 mm (5.6") de altura, pero el mismo procedimiento puede ser usado para moldear probetas mayores o menores.

MOLDEO

- 23. Aplíquese una capa delgada de aceite comercial en las paredes interiores del molde y de la extensión, así como en los dos discos separadores. Colóquese el molde en posición vertical, con el anillo espaciador sobre el pistón inferior en forma tal, que éste se introduzca en el molde de 25 mm (1").
- 24. Colóquese un disco separador sobre el pistón inferior y ajústese la extensión del molde. Deposítese en el molde un peso predeterminado de mezcla, que dé un espécimen con el peso unitario de diseño, cuando sea compactado hasta una altura de 142 mm (5.6") dentro del molde.- Cuando el suelo-cemento contenga agregado retenido en el tamiz No.4 (4,75 mm), distribúyase uniformemente la mezcla dentro del molde con ayuda de la espátula. Luego compáctese la mezcla con la varilla compactadora, introduciendo su extremo recto dentro de la mezcla, en forma firme y con algo de impacto, hacia arriba y hacia abajo sobre una misma trayectoria, y repitiendo el movimiento en varios puntos uniformemente distribuidos en la sección transversal del cilindro.

Esta operación se debe hacer cuidadosamente para no dejar vacíos en mezclas arcillosas de suelo-cemento. Repítase el proceso hasta que la mezcla se halle compactada hasta una altura de 150 mm (6") aproximadamente.

- 25. Quítese la extensión del molde y colóquese el otro disco separador sobre la mezcla. Remuévase también el anillo espaciador del extremo inferior. Colóquese el pistón superior en posición y aplíquese una carga, sea estacionaria mediante una máquina de compresión o sea dinámica mediante una máquina de impacto, hasta que la mezcla quede comprimida a una altura de 142 mm (5.6").
- **26.** Remuévanse los pistones y discos separadores, dejandose la mezcla de suelo-cemento en el molde.

CURADO

- 27. Cúrense las probetas dentro de los moldes en la cámara húmeda, por 12 horas o más si es necesario, para permitir la utilización del extractor de las probetas compactadas. Devuélvanse las probetas luego de extraídas, a la cámara húmeda y evítese que goteen durante el tiempo de curado. Generalmente las probetas son ensayadas a compresión en condición húmeda, inmediatamente después de ser removidas de la cámara.
 - **Nota 4:** Otros procedimientos de acondicionamiento en este punto de la preparación, como operaciones de remojo, secado al aire o al horno, humedecimiento y secado alternado, etc., pueden ser especificados después del curado inicial de la mezcla. Estos procedimientos deben ser indicados con detalle en el informe.

REFRENTADO

- **28.** Antes del ensayo a compresión, deben refrentarse los extremos de las probetas que no se consideren planos (tolerancia de 0,05 mm (0.002") de separación del plano.
- 29. El refrentado puede hacerse con los elementos comunes para ello (Azufre). La capa del refrentado debe ser lo más delgada posible, y aplicarse con suficiente anterioridad para que endurezca y no se fracture cuando la probeta se someta a compresión (tiempo sugerido: 3h. a 23°C). Durante este período de endurecimiento, debe mantenerse constante la humedad de las probetas.

INFORME

El informe debe incluir los siguientes datos acerca de la mezcla de suelo-cemento:

- a) Gradación del suelo tal como fue recibido y usado en la elaboración de las probetas.
- b) Identificación de las probetas.
- c) Humedad de diseño.
- d) Peso específico seco (al horno) de diseño.
- e) Contenido de cemento de diseño.
- f) Humedad real.
- g) Peso específico seco (al horno) real.
- h) Contenido de cemento real.

Detalles de los procedimientos de curado y de acondicionamiento de las probetas.

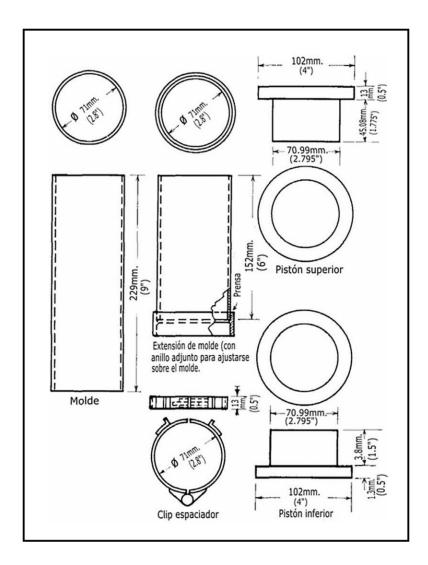


FIGURA S0707_1MOLDE DE CILINDRO DE SUELO CEMENTO

CAPÍTULO S0708. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1633)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo.

Se proporcionan dos procedimientos alternativos:

Método A

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4.0") de diámetro y de 116,4 mm (4.584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2.8") de diámetro y de 142,2 mm (5.6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0.

Las unidades normales serán kPa y mm.

USO Y SIGNIFICADO

- 1. El Método A hace uso del mismo equipo de compactación y moldes comúnmente disponibles en loslaboratorios de suelos y empleados para otros ensayos de suelo-cemento. Se considera que este método suministra una medida relativa de la resistencia en lugar de un valor exacto de la resistencia a la compresión. Debido a una menor relación de altura al diámetro (1,15) de los cilindros, la resistencia a la compresión determinada mediante el Método A será normalmente mayor que la del Método B.
- 2. A causa de la mayor relación de la altura al diámetro (2,00), el Método B da una mejor medida de la resistencia a la compresión desde un punto de vista técnico, ya que reduce

condiciones complejas de esfuerzos que pueden presentarse durante el aplastamiento de especimenes del Método A.

3. En la práctica, el Método A ha sido empleado más comúnmente que el Método B. Como consecuencia de esto, ha sido costumbre evaluar o especificar valores de resistencia a la compresión según el Método A.

En el punto "Procedimiento" se da un factor para convertir valores de resistencia a la compresión con base en la relación entre la altura y el diámetro.

EQUIPOS

4. Máquina para ensayo de compresión

Puede ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y adecuado control para proporcionar la tasa de carga prescrita en el numeral 15 y deberá cumplir con las exigencias del numeral 15 de la práctica E-4 de la ASTM.

La máquina de ensayo deberá estar provista de dos superficies de apoyo de acero templado (Véase la Nota No.1), una de las cuales es un bloque de levantamiento asentado esféricamente, el cual normalmente se apoya sobre la superficie superior del espécimen, y el otro un bloque rígido plano sobre el cual descansará el espécimen.

Las superficies de apoyo deberán ser al menos tan grandes como la superficie del espécimen a la cual se aplica la carga. Las superficies de apoyo, cuando nuevas, no deberán apartarse de un plano en más de 0,013 mm (0.0005") en ningún punto, y deberán mantenerse dentro de un límite de variación permisible de 0,02 mm (0.001"). En el bloque asentado esféricamente, el diámetro de la esfera no deberá exceder al del espécimen y el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la superficie de soporte.

La parte movible de este bloque deberá mantenerse estrechamente ajustada en el asentamiento esférico, pero el diseño deberá ser tal, que la superficie de soporte pueda rotarse libremente e inclinarse en ángulos pequeños en cualquier dirección.

Nota 1: Es deseable que las superficies de soporte de los bloques empleados para el ensayo de compresión del suelo cemento tengan una dureza no menor de 60 HRC. (Unidades de Dureza Rockwell con punta de diamante) (AASHTO T 80, ASTM E-18, ICONTEC 19)

5. Equipos y moldes de compactación, de acuerdo con los *métodos S0706* para el Método A; o con el **método S0707** para el Método B.

ESPECÍMENES DE ENSAYO

- **6.** Moldéense los especímenes de ensayo así:
 - **Método A.**-Especímenes de 101,6 mm (4") de diámetro y de 116,4 mm (4.584") de altura y moldeados de acuerdo con el *Método S0706*.
 - **Método B.**-Especímenes de 71,1 mm (2.8") de diámetro y de 142,2 mm (5.6") de altura y moldeados de acuerdo con el **Método S0707**.
 - **Nota 2:** Pueden emplearse estos métodos para ensayar especímenes de otros tamaños. Si la muestra del suelo incluye material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), se recomienda emplear el Método A. Especímenes más grandes de 101,6 mm (4") de diámetro y 203,2 mm (8") de altura, se moldean de una manera similar al Método B.
- 7. Cúrense en húmedo los especímenes de acuerdo con el *Método S0707*.
- **8.** Al final del período húmedo de curado, sumérjanse por 4 horas los especímenes en agua.
- **9.** Remuévanse los especímenes del agua y efectúense los ensayos de compresión tan pronto como sea posible, manteniendo húmedo los especímenes, por medio de cáñamo húmedo o bayetilla de envoltura.
 - **Nota 3**: Otros procedimientos de acondicionamiento, como secado al aire o en el horno, o humedecimiento y secamiento alternativamente, pueden especificarse después de un período inicial de curado. Los procedimientos de acondicionamiento y curado, deberán indicarse detalladamente en el informe.
- 10. Compruébese la tersura de las caras con una hoja recta. Si fuere necesario, refréntense los extremos para que cumplan con las exigencias del aparte sobre refrentado de especímenes, el Método S0707.

PROCEDIMIENTO

- 11. Colóquese el bloque inferior de apoyo sobre la mesa o sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de apoyo superior asentado esféricamente.
- **12.** Colóquese el espécimen sobre el bloque inferior de apoyo, asegurándose de que el eje vertical del espécimen esté alineado con el centro de empuje del bloque asentado

esféricamente. Como este bloque es llevado a apoyarse sobre el espécimen, rótese suavemente a mano su parte móvil de manera que obtenga asentamiento uniforme.

Aplíquese la carga continuamente y sin choques. Puede usarse una máquina de ensayo operada por tornillo aproximadamente a 1 mm (0.05") por minuto. Con máquinas hidráulicas, ajústese la carga a una tasa constante dentro de los límites de 140 ± 70 kPa/s (20 ± 10 lbs/pulgada²/s) de acuerdo con la resistencia del espécimen. Regístrese la carga total a la falla del espécimen de ensayo con aproximación de 40 N (10 lbs).

CÁLCULOS

14. Calcúlese la resistencia unitaria a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal.

Nota 4: Si se desea, establézcanse tolerancias para la relación de altura/diámetro (h/d), multiplicando la resistencia a la compresión de especímenes del Método B por 1,10. Esto convierte la resistencia para una relación h/d de 2,00 a la de una relación de h/d de 1,15 comúnmente empleada en ensayos de resistencia de suelo cemento (Véase "Uso y significado"). Esta conversión ha sido encontrada aplicable para el suelo cemento.

PRECISIÓN Y TOLERANCIA

15. La precisión y tolerancia de este método de ensayo no ha sido establecida mediante un programa de investigación de varios laboratorios. Sin embargo, con base en los datos de ensayo que están disponibles, lo siguiente puede servir como guía para la variabilidad de los resultados de ensayos de compresión.

-Se efectuaron ensayos en un laboratorio sencillo sobre 122 grupos de especímenes dobles, moldeados a partir de 21 materiales diferentes de suelo. La diferencia promedio en la resistencia sobre especímenes, duplicados fue de 8,1% y la diferencia media de 6,2%. Estos valores se expresan como el porcentaje de la resistencia promedio de los dos especimenes, en la siguiente forma:

% de Diferencia =
$$\frac{(valor\ alto - Valor\ bajo)}{(Valor\ alto + Valor\ bajo)/2}x100$$

En la *Figura S0708_1*, se muestra la distribución de la variación. Los datos cubren un rango amplio de contenidos de cemento y de resistencia a la compresión.

INFORME

El informe deberá incluir:

- a) Número de identificación del espécimen.
- b) Diámetro y altura, mm (pulgada).
- c) Área de la sección transversal, mm² (pulgada²).
- d) Carga máxima, con aproximación a los 40 N (10 lbs) más próximas.
- e) Factor de conversión, si se usó, para la relación de la altura al diámetro (Véase la Nota No.4).
- f) Resistencia a la compresión, calculada con aproximación a 35 kPa (5 lbs/pulg²).
- g) Edad del espécimen, y
- h) Detalles de los períodos de curado y acondicionamiento, y contenido de humedad en el momento del ensayo.

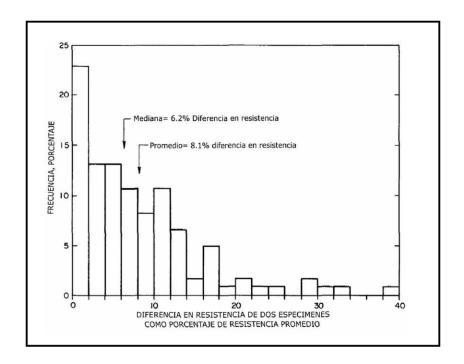


FIGURA S0708_1 DISTRIBUCIÓN DE LA VARIACIÓN EN EL RESULTADO DEL ENSAYO EN 122 ESPECÍMENES

CAPÍTULO S0709. CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS FRESCAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D2901)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación del contenido de cemento en mezclas frescas de suelo cemento con suelos o áridos.

USO Y SIGNIFICADO

Este método determina el contenido de cemento mediante análisis químico, y fue desarrollado principalmente como un ensayo relativamente rápido para emplear en el sitio de la construcción, con el fin de verificar que las mezclas cumplan con las especificaciones. El método sirve para ensayar los materiales una vez se ha terminado la mezcla.

EQUIPOS

- **1.** Balanza con capacidad de 1000 g o más, y precisión de 0,1 g.
- **2.** Artefactos de vidrio

Un cilindro graduado de 25 ml y otro de 1000 ml, buretas de 25 ml, pipetas volumétricas de 10 ml, frascos Erlenmeyer de 250 ml, gotero para drogas médicas.

3. Artefactos de plástico

Recipiente de polietileno de 2 l (2 cuartos de galón) con tapas de cierre instantáneo, embudo de plástico de 300 mm (12") de diámetro, botellas de polietileno de 20 l (5 galones) para el cloruro de amonio y para el agua destilada y desmineralizada.

- **4.** Soporte para bureta de 25 ml.
- **5.** Agitador magnético y barra de agitación.
- **6.** Varilla de agitación de acero inoxidable aproximadamente de 300 mm (12") de largo.
- **7.** Se recomienda un medidor de pH, o papel indicador (rango de 10 a 14).

REACTIVOS

8. Pureza de los reactivos

Para todos los ensayos deberán emplearse reactivos de grados químicos. A menos que se especifique de manera diferente, se buscará que todos los reactivos cumplan con las especificaciones para reactivos químicos cualitativos de la Sociedad Americana de Química.

Pueden emplearse grados diferentes si se tiene certeza de que el reactivo es de pureza suficientemente alta que permita su empleo sin disminuir la precisión de la determinación.

9. Solución de cloruro de amonio (10%)

Transfiéranse 1893 g. de cloruro de amonio granular (NH₄Cl) a una botella plástica de 5 galones.

Complétense hasta 5 galones con agua destilada o desmineralizada y mézclense bien (en unidad SI úsense 2000 g. de cloruro de amonio y 20 l de agua).

10. Solución EDTA (0,1 M)

Se halla disponible como una solución previamente preparada en muchos proveedores de productos químicos o también puede prepararse la solución en la siguiente forma: disuélvanse 74,45 g. de tetraantato deshidratado de disodio (Na₂ C₁₀ H₁₄ N₂ O₈ 2H₂0) en aproximadamente 1 l de agua caliente, destilada o desmineralizada en un vaso de precipitados. Enfríese hasta la temperatura ambiente, transfiérase cuantitativamente a un frasco volumétrico de 2 l y dilúyase hasta la marca con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella de polietileno.

11. Polvo indicador azul indicada de hidroxinaftol

12. Solución de hidróxido de sodio (50%)

Se encuentra como un reactivo previamente preparado, bajo en carbonatos. Dilúyase para su empleo con agua destilada 1 + 1. Esta solución puede prepararse así: Agréguense cuidadosamente 500 g de pastillas de hidróxido de sodio (NaOH) a 600 ml de agua destilada o desmineralizada y déjense enfriar a la temperatura ambiente. Dilúyanse hasta 1 L con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella plástica. Para su empleo, dilúyase 1 + 1 con agua destilada o desmineralizada.

13. Solución buffer con pH de 10, empleada para calibrar el medidor de pH.

PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

14. A partir de los materiales que se van a emplear para la construcción, deben prepararse tres series de muestras por duplicado con la humedad de diseño y con los siguientes contenidos de cemento respecto del valor de diseño: Serie 1, 2 muestras con el 75%; serie 2,2 muestras con el 100%; serie 3, 2 muestras con el 125%. Para cada muestra se calculan las cantidades de suelo, cemento y agua, así:

$$Ws = S/[(1+M/100)(1+C/100)]$$

 $Wr = (R/100) x Ws$
 $WF = Ws - Wr$
 $Wc = (C/100)x Ws$
 $Vw = (M100)(Ws + Wc)$

Donde:

M = Humedad de diseño, % del peso seco.

C = Contenido de cemento, % del peso seco del suelo.

R = % del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4).

S = Tamaño de la muestra : 300,0 g cuando el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm(No.4), 700,0 g cuando parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), g.

Ws = Peso total de suelo g.

Wr = Peso del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4).

Wf = Peso del material que pasa tamiz de 4,75 mm (No.4), g.

Wc = Peso de cemento, g.

Vw = Volumen de agua, ml.

Para cada muestra mézclense completamente el cemento y el suelo hasta que se tenga un color uniforme. Agréguese el agua y mézclese completamente.

Nota 1: El contenido de humedad del suelo secado al aire tendrá un ligero efecto en la precisión de los resultados de la calibración. Esto puede corregirse empleando cantidades de suelo y agua calculadas en la siguiente forma:

$$W'f = (1 + Ms/100) x Wf$$

$$V'w = Vw = (W'f - Wf)$$

Donde:

Ms = Contenido de humedad del suelo secado al aire que pasa tamiz de 4,75 mm (No.4).

- **15.** Dependiendo de si la muestra contiene material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), sígasecualquiera de los apartes siguientes:
 - a) Para suelos en los cuales el 100% pasa tamiz de 4,75 mm (No.4), titúlense 3000 g de muestra como se describe en el apartado de "Cálculos". Después de titular las seis muestras constrúyase un gráfico que muestre mililitros de solución EDTA contra el % de cemento en peso empleando las cifras promedias de pesos de las series 1, 2 y 3.
 - b) Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), tamícense completamente cada fracción de 700 g. de muestra sobre el tamiz hasta cuando todo el material retenido se halle libre de partículas más pequeñas.

Mézclese el material que pasa el tamiz y pésese una porción de 300 g. y titúlese como se describe en el apartado de "Cálculos". Después de titular las seis muestras, dibújese una gráfica que muestre mililitros de solución EDTA empleando cifras promedias de las series 1, 2 y 3, contra gramos de cemento, Wc 300, en una muestra de 300 g. calculados así:

$$Wc300 = [300/(700-Wr)]x Wc$$

- **16.** Vuélvase a calibrar la curva cada vez que se introduzca una nueva bachada de reactivos químicos.
- **17.** Resultan imprecisiones cuando el contenido de calcio de las muestras de ensayo difiere de las

muestras de calibración. Los ensayos de calibración deberán volverse a efectuar siempre que lasmuestras varíen suficientemente en el contenido de calcio, cuando se han medido mediante ensayo de titulación sobre los suelos naturales (apartado "Procedimiento para la titulación").

MUESTREO

- **18.** Tómense muestras representativas de la mezcla de suelo-cemento a la conclusión de la mezcla.
 - Inmediatamente ensáyense las muestras o colóquense en recipientes plásticos cubiertos y ensáyense dentro de los 30 minutos a partir de la conclusión de la mezcla. Dependiendo del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), sígase el aparte a) o b):
 - a) Para suelos en los cuales 100% pasa tamiz de 4,75 mm (No.4), pésese una porción de 300 g. y titúlese como se describe en el apartado "Procedimiento para la titulación".
 - b) Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), pésese una muestra de 700 g. Tamícese completamente la muestra sobre el tamiz de 4,75 mm (No.4) hasta que el material retenido quede libre de partículas adheridas más pequeñas. Pésese y regístrese como Wfew el material total que pase el tamiz. Mézclese el material que pasa dicho tamiz y pésese una porción de 300,0 g. y titúlese como se describe en el apartado "Procedimiento para la titulación".

Nota 2: Si debe efectuarse alguna corrección por variaciones en el contenido de humedad, determínese ésta, M' en una porción separada del material que pasa tamiz de 4,75 mm (No.4). En la Nota 5 se dan los cálculos para la corrección.

PROCEDIMIENTO PARA LA TITULACIÓN

Colóquense 300 g. de muestra dentro de un recipiente de polietileno de 2 l (2 cuartos de galón) y agréguense 500 ml de solución de NH₄ Cl. Colóquese una cubierta sobre el recipiente y agítese la mezcla durante 2 minutos ± 2 segundos. Déjese asentar la mezcla durante 4 minutos ± 2 segundos para obtener una sobrenata clara. Llévense con una pipeta una alicuota de 10 ml de la solución de sobrenata a un vaso con vertedero de 250 ml que contenga una barra magnética de agitación, agréguense 100 ml de agua destilada o desmineralizada. Mientras se mezcla completamente en un agitador magnético, agréguense con un gotero gotas de solución de NaOH hasta que se obtenga un pH entre 13,0 y 13,5 determinado en un medidor de pH o sobre un papel indicador. Cuando se emplee este último, úsese una varilla de agitación para transferir gotas de la solución al papel indicador. Después de ajustar el pH, espérense de 20 a 30 segundos para asegurar que el pH no se desvía por debajo del rango especificado. Agréguense cuatro gotas de solución de trietanolamina y alrededor de 0,2 g del polvo indicador. Continúese agitando la solución en el agitador magnético.

Titúlese con solución EDTA hasta un punto final completamente azul. Regístrense los mililitros de EDTA requeridos para obtener el punto final.

Nota 3: Puede obtenerse un punto final más definido agregando aproximadamente 90% de la cantidad anticipada de solución EDTA antes de la adición de solución de NaOH.

Nota 4: Todo el equipo debe mantenerse escrupulosamente limpio enjuagándolo completamente con agua destilada o desmineralizada. Todos los reactivos deben almacenarse en recipientes de polietileno.

CÁLCULOS

20. Dependiendo de la cantidad de muestra retenida sobre un tamiz de 4,75 mm (No.4), síganse cualquiera de los siguientes apartes:

Si el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4), léase el contenido de cemento mediante el peso seco del suelo (excluido el cemento) directamente de la curva de calibración que corresponda a los resultados de la titulación en mililitros de EDTA para la muestra de ensayo.

Si el suelo contiene material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), léanse los gramos de cemento de la curva de calibración que corresponde a los resultados de la titulación en mililitros de EDTA para la muestra de ensayo. Calcúlense A y B en la siguiente forma:

$$A = (Wf_{CW}/300) \ xWc \ 300$$

 $B = 700/[1 + (M/100)]$

Donde:

Wfcw = Gramos de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm, descrito en el apartado 18b).

Wc300 = Gramos de cemento leídos de la curva de calibración.

M = Contenido de la humedad de diseño, %.

A = Gramos de cemento en la muestra de 700 g.

B = Gramos de suelo y de cemento en la muestra de 700 g.

Calcúlese luego C, porcentaje de cemento en peso seco de la muestra total (excluido el cemento), en la siguiente forma:

$$C = [A/(B-A)]x100$$

Nota 5: Las variaciones del contenido de humedad tendrán un efecto ligero en la precisión del ensayo. La corrección por variación de humedad, C', puede calcularse así:

$$C' = \frac{1 + (M'/100)}{1 + [Vw/(Wf + Wc)]} \times C$$

Donde:

C' = Porcentaje de cemento corregido por variación de la humedad.

C = Porcentaje de cemento determinado a partir de la muestra de ensayo.

R = Porcentaje de material retenido sobre un tamiz de 4,75 mm (No.4) para las muestras de calibración.

M' = Porcentaje de humedad de la muestra de ensayo determinado como se indica en la Nota 2.

Vw, Wf y Wc: Son cantidades calculadas en el apartado "Uso y significado" de la calibración de la serie 2.

PRECISIÓN

21. Durante los años de 1967 y 1968 los programas adelantados por parte de varios laboratorios indicaron un error promedio en la determinación del contenido de cemento del 3,6% [(error /contenido de cemento) x 100] a partir del cual se estimó un coeficiente de variación del 45% sobre especímenes duplicados empleados en el proceso de calibración. La desviación promedia en mililitros de EDTA fue de 2,4% [(desviación en mililitros) / (mililitros promedios) x 100].

CAPÍTULO S0710. CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS ENDURECIDAS DE SUELO-CEMENTO (ASTM D806 AASHTO T144)

OBJETO

Este método se refiere a la determinación, mediante análisis químico, del contenido de cemento en mezclas de suelo-cemento endurecidas.

EQUIPOS

- **1.** Balanza analítica, con capacidad de 200 g y precisión de 0,001 g.
- 2. Papeles de filtro, que incluyan Whatman No.1, de 11 y 15 cm. de diámetro; Whatman No.41, de 15 cm. de diámetro; y Whatman No.2, de 11 o 15 cm. de diámetro.
- 3. Aparatos misceláneos Equipos complementarios, tales como hornos eléctricos, placas de calentamiento, un pequeño cuarteador, un tamiz de 425 μ m (No.40) con cazuela de fondo y tapa, un mortero de hierro fundido con mano y molino de bola si fuera posible.

REACTIVOS

4. Permanganato de Potasio, solución normal (0,1 N).

Prepárese y normalícese una solución 0,1 N de KMnO₄.

Nota 1: El empleo de una solución normal 0,1 de KMnO₄no es necesario cuando las muestras se titulan de acuerdo con el numeral 15 y los resultados se calculan de acuerdo con el numeral 17.

MUESTRAS

- **5. Deberán** escogerse para el ensayo muestras de lo siguiente:
 - -Suelo original, representativo de la fase de suelo de la mezcla de suelo-cemento.
 - -Cemento, representativo de la fase de cemento de la mezcla del suelo-cemento, y
 - -Mezcla de suelo-cemento que se va a analizar.

6. La muestra bruta de laboratorio, de cada componente, deberá pesar aproximadamente 200 gramos. Puede lograrse esto reduciendo la muestra en volumen y, si fuere necesario en tamaño de partículas, mediante el empleo de secamiento, cuarteo y pulverización.

PROCEDIMIENTO

- 7. Séquense al horno 25 gramos de cada una de las muestras, hasta peso constante, a $110 \pm 5^{\circ}$ C (230 $\pm 9^{\circ}$ F), para remover la humedad libre. Redúzcase la muestra para que pase el tamiz de 425 μ m (No.40).
- 8. Pésense en la balanza analítica, las siguientes cantidades de las muestras: Suelo original, 5 gramos; mezclas de suelo-cemento 5 gramos; cemento, 1 gramo. Colóquese cada una de las muestras pesadas en un "beaker" o vaso con pico de 250 ml. Agréguense 50 ml. de HCl (1+1) (Véase nota 2) a cada muestra y cúbranse. Hiérvanse levemente durante 5 minutos, sobre la placa de calentamiento.

Nota 2: En el caso de la muestra de cemento, generalmente es preferible agregar primero 40 ml de agua y agitar para obtener una mezcla completa. Se agregan luego 10 ml de HCl (peso específico 1,19) y se hierve levemente durante un tiempo suficiente para obtener la descomposición del cemento. Rara vez es necesario hervir vigorosamente durante un período largo las muestras de suelo o cemento y los resultados frecuentemente se traducen en una filtración mucho más lenta.

- 9. Añádanse 25 ml de agua caliente a los vasos, agítense, déjense asentar momentáneamente y entonces decántense los contenidos a través de un papel de filtro Whatman No.1 (véase Nota 3), preferiblemente de 15 cm. de diámetro. El filtrado deberá recibirse en un frasco volumétrico de 250 ml. Cuando el líquido haya pasado a través del papel de filtro, lávese una vez y por decantación, el residuo que haya quedado en el beaker, empleando agua caliente. El beaker deberá ser vaciado rápidamente, transfiriendo así el material flojo o suelto, al papel de filtro.
- 10. El material sobre el filtro deberá lavarse entonces 4 veces adicionales, con un lavado consistente de 10 a 15 ml de agua caliente, dirigida en un chorro proveniente de la botella de lavado. Cantidades muy pequeñas de residuo pasarán ocasionalmente a través del filtro. Ordinariamente, éstas pueden despreciarse.

Nota 3: En el caso de muestras de suelo y suelo-cemento, el volumen del residuo algunas veces disminuye apreciablemente la filtración. Generalmente no se encuentra ninguna dificultad con las muestras de cemento y, como regla general, las muestras de suelo deben filtrarse y lavarse en menos de 30 minutos. Algunas mezclas de suelo-cemento requieren más tiempo pero, si este período excede 1 hora, la filtración subsiguiente en casos similares puede hacerse más rápida, sustituyendo el papel No.41 por el papel No.1. La filtración lenta en tales casos es causada generalmente por ebullición excesiva, produciéndose gelatinización de la sílice que retarda materialmente la filtración.

- Cuando se haya completado el lavado, descártese el filtro y dilúyase el filtrado en el frasco volumétrico de 250 ml con agua fría. La temperatura de la solución deberá estar cerca del punto de calibración del frasco. Agítese el frasco para mezclar los contenidos completamente; remuévase luego un alícuota de 50 ml y transfiérase al vaso original de 250 ml (numeral 12) empleando una pipeta de 50 ml. Dilúyase hasta 100 ml. Hágase la solución ligeramente amoniacal (véase nota 4), hiérvase hasta 2 minutos y déjense asentar los hidróxidos.
 - **Nota 4:** Si las muestras contienen hierro ferroso, es deseable agregar pocas gotas de HNO₃antes de la precipitación de los hidróxidos.
- Fíltrense los hidróxidos a través del papel de filtro Whatman No.1 de 11 cm. (o No.41), recibiendo el filtrado en un vaso de 600 ml. Lávese una vez el vaso original de 250 ml sobre el filtro con una corriente de solución caliente de NH₄NO₃ (20 g/l) y sígase lavando el hidróxido precipitado, una o dos veces con solución caliente de NH₄NO₃ (20 g/l). Déjese el filtrado a un lado y colóquese el vaso original bajo el embudo. Perfórese el papel con una varilla (véase nota 5) y lávense los hidróxidos dentro del vaso original, empleando una corriente de solución de NH₄NO₃ (20 g/l) para remover la mayor parte del precipitado del papel de filtro. Trátese el papel de filtro con 20 ml de HCl (1+3) caliente, dirigiendo el ácido sobre el papel con una varilla de vidrio. Lávese varias veces el papel con agua caliente y descártese luego el papel. Dilúyase la solución hasta 75 ml.
 - **Nota 5:** En lugar de perforar el papel de filtro, se puede: transferir el papel y el precipitado al vaso original, disolver los hidróxidos con 20 ml de HCl (1+3) caliente y diluirlos hasta 75 ml con agua, y continuar el procedimiento como se describe en el numeral 12. En este caso, los hidróxidos reprecipitados y la pulpa, son subsiguientemente removidos simultáneamente.
- Hágase la solución ligeramente amoniacal y hiérvase 1 o 2 minutos. Déjese que el precipitado se asiente, decántese luego a través de un papel Whatman No.1 como antes, recibiendo el filtrado en el vaso de 600 ml previamente dejado al lado (numeral 11). Lávese y límpiese el vaso en el cual tuvo lugar la precipitación y lávese finalmente el precipitado sobre el filtro, 3 o 4 veces con solución NH₄NO₃ (20 g/l). Descártese el hidróxido precipitado. Agréguense 2 ml de NH₄ OH (peso específico de 0,90) al filtrado, el cual tiene ahora un volumen de 250 a 350 ml.

Caliéntese la solución hasta la ebullición y agréguense 10 ml de solución caliente de oxalato saturado de amonio. Manténgase la mezcla cerca de la ebullición hasta que el precipitado se vuelva granular; colóquese luego al lado, sobre una placa de calentamiento tibia, durante 30 minutos o más. Antes de filtrar el oxalato de calcio, verifíquese la conclusión de la precipitación, asegurándose que un ligero exceso de NH₄ OH esté presente. Fíltrese la mezcla a través de un papel filtrante Whatman No.2 de 11 ó 15 cm o, si se prefiere, un papel Whatman No.42, verificando que todo el precipitado queda retenido.

Límpiese completamente, con un limpiador de caucho, el vaso en el cual tuvo lugar la precipitación, y transfiéranse los contenidos al filtro, con una corriente de agua caliente. Lávese el filtro de 8 a 10 veces con agua caliente (no más de 75 ml) (véase nota 6), empleando una corriente de la botella de lavado.

Nota 6: El filtro puede lavarse 4 veces, cada una con NH₄ OH(2+98) y agua caliente, en el orden establecido.

Abrase cuidadosamente el papel de filtro y lávese el precipitado dentro del vaso en el cual se efectúa la precipitación. Dilúyase hasta 200 ml y agréguense 10 ml de H₂SO₄(1+1). Caliéntese la solución hasta justo antes de la ebullición y dilúyase con la solución estándar KMnO₄(Nota 7) hasta obtener un color rosado persistente. Agréguese el papel de filtro y macháquese. Continúese la titulación ligeramente hasta que el color rosado persista por 10 segundos.

Nota 7: La temperatura de la solución estándar $KMnO_4$ no deberá variar de la temperatura de estandarización en tal magnitud, que pueda causar un serio error en la determinación del CaO. A temperaturas ambientales ordinarias, el volumen del agua pura cambia entre 0,01 y 0,04%, por cada grado Celsius, dependiendo de la temperatura.

15. Blanco

Hágase una determinación en blanco, siguiendo el mismo procedimiento y empleando la misma cantidad de todos los reactivos.

16. Procedimiento alterno de titulación

Titúlese como se describió en el numeral 13, excepto que la solución deKMnO₄no necesita ser una solución 0,1 normal, pero la misma solución deberá usarse para la titulación de todos los componentes. Omítase la determinación en blanco descrita en el numeral 14.

CÁLCULOS

Calcúlese el contenido de cemento de las mezclas de suelo-cemento en la siguiente forma:

- **17.** Cuando la determinación se haya completado de acuerdo con los numerales 13 y 14, calcúlese:
 - -Porcentajes de CaO en el suelo, en el cemento y en la mezcla de suelo-cemento de la siguiente

forma:

$$% CaO = [((A-B)Cx \ 0.028)/D]x \ 100$$

Donde:

A =Mililitros de solución de KMnO₄ requerida para la titulación de la muestra.

B =Mililitros de la solución de KMnO₄ requeridos para la titulación del blanco.

C = Normalidad de la solución del KMnO₄.

D = Gramos de muestra representados por la alícuota titulada (Nota 8).

0,028 = Equivalente CaO de 1 ml de solución 1,0 N de KMnO₄.

Porcentaje (en peso) de cemento en la mezcla de suelo-cemento como sigue:

$$%cemento = [(G - F)/(E - F)] x 100$$

Donde:

E = % de CaO en el cemento

F = % de CaO en el suelo natural

G = % de CaO en la mezcla de suelo-cemento

Nota 8: Las alícuotas tituladas son equivalentes a 1 g de suelo o de suelo-cemento y a 0,2 g de cemento.

18. Cuando la determinación se ha completado de acuerdo con el numeral 15, calcular el porcentaje en peso de cemento en la mezcla de suelo-cemento, como sigue (Nota 9):

Nota 9: El valor del porcentaje (en peso) de cemento obtenido de acuerdo con los numerales 16 y 17 está en términos de cemento hidratado. Tales valores pueden convertirse a un valor equivalente aproximado de cemento seco, multiplicándolos por el factor 1,04.

CAPÍTULO SO8 OTROS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

CAPÍTULO S0801. DOSIFICACIÓN Y ENSAYO DE MEZCLAS DE SUELO-EMULSIÓN (NTL 170)

OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la absorción de agua, hinchamiento y características de extrusión, sobre las mezclas asfálticas compactadas elaboradas con emulsiones asfálticas.

El método está destinado a la evaluación de los efectos del agua sobre estas mezclas.

Mediante este ensayo se puede determinar el contenido óptimo del material asfáltico necesario para estabilizar un suelo, ensayando series de probetas con contenidos diferentes de ligante.

Este método también es aplicable para la determinación del contenido óptimo de ligante en las mezclas elaboradas con arenas naturales y emulsiones asfálticas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Mezcladora mecánica

Para obtener una mezcla íntima y homogénea del suelo, agua y ligante bituminoso. Deberá estar provista de velocidades rápida y lenta. Se puede efectuar el mezclado a mano, pero el tiempo necesario para lograr un cubrimiento satisfactorio es normalmente excesivo y los resultados del ensayo son menos uniformes.

- **2. Conjunto de compactación**, que está constituido por los siguientes elementos:
 - a) Molde de compactación Está formado por un molde cilíndrico de acero endurecido de $50,800 \pm 0,025$ mm de diámetro interior, 133,35 mm de longitud y un diámetro exterior de 63,5 mm

como mínimo. Deberá disponerse de algún dispositivo para proteger el borde superior del molde y regular la altura de caída, durante la precompactación.

b) Pistones de compactación

Dos pistones, superior e inferior, terminados ambos en caras circulares de $50,724 \pm 0,025 \,$ mm de diámetro y con longitudes de $139,70 \,$ mm y $63,50 \,$ mm, respectivamente.

c) Precompactador

Está formado por una hoja de acero, continuada por una varilla alojada en un mango de madera.

Su longitud total es de 368,30 mm; 152,40 mm y 9,52 mm la longitud y diámetro de la varilla; y 34,92 mm el diámetro del mango de madera. La hoja propiamente dicha, de forma plana, de 215,9 mm de longitud, 34,92 mm de ancho junto al mango, y 47,62 mm de su extremo libre. Su espesor es de 15,88 mm desde el borde del mango en una longitud de 165,10 mm, terminando en una zona más delgada de 6,35 mm de espesor y 50,8 mm de longitud y con un extremo redondeado. El peso total del precompactador será de unos 1200 gramos aproximadamente.

3. Aparatos de absorción de agua, formados por una cubeta de fondo plano, de unos 51 mm de profundidad, de un material resistente a la corrosión, y una cámara húmeda capaz de mantener una temperatura entre 18 y 27°C con una humedad relativa mínima del 90%.

4. Conjunto de extrusión que está formado por las siguientes partes:

a) Molde de ensayo

Es un cilindro recto de acero endurecido, de 114,30 mm de longitud y 76 mm de diámetro exterior. Interiormente está formado por una superficie tronco cónica y otra cilíndrica, con un diámetro en la boca superior de $52,58 \pm 0,25$ mm, que se va estrechando a lo largo del molde hasta un valor mínimo de $51,308 \pm 0,025$ mm, a una distancia de 57,15 mm de la boca inferior .

b) Pistón de ensayo

Está formado por un doble cilindro coaxial macizo, de acero endurecido para herramientas, con una longitud total de 152,40 mm. El cilindro mayor tendrá un diámetro de $31,750 \pm 0,127$ mm y una longitud de 101,4 mm, y el cilindro menor, que es el pistón de ensayo propiamente dicho, será de $28,575 \pm 0,025$ mm de diámetro y 51 mm de largo.

c) Guía del pistón de ensayo

Es un cilindro hueco de acero, con diámetro exterior de 51,054 \pm 0,127 mm, diámetro interior de 32,131 \pm 0,127 mm y 101,4 mm de longitud.

d) Anillo de ensayo.

Está formado por un disco anular fabricado con acero endurecido, de 6,35 mm de espesor, con un orificio central cilíndrico de 28,575 \pm 0,025 mm de diámetro y 1,588 mm de altura, que continúa en forma troncocónica con un ángulo aproximado de 30 grados. Coaxialmente con el orificio central, por su parte inferior, irá un resalte circular de 51,257 \pm 0,025 mm de diámetro y 1,27 mm de altura.

e) Anillo soporte.

Del tipo Hubbard-Field o equivalente, adecuado para su función de soportar el conjunto del aparato de extrusión durante el ensayo de carga.

- **5. Prensa, de unos 4.500 Kgf** de capacidad y capaz de aplicar la carga a una velocidad uniforme de 25 mm/min. Deberá estar provista de medidor continuo de carga e indicador de carga máxima.
- **6.** Horno, con regulación termostática capaz de mantener una temperatura de 60 + 3°C.

7. Medidor de probetas

Cualquier dispositivo capaz de medir las alturas y diámetros de las probetas, con una precisión de 0,25 mm.

- **8. Balanza, de 2 Kg**. de capacidad y una precisión de 0.1 g y otra de 500 g de capacidad y 0.05 g de precisión.
- 9. Tamices

Un tamiz de 6.3 mm (1/4").

10. Material diverso

Recipientes para áridos y material bituminoso, espátulas flexibles, espátulas rígidas, guantes, lápiz de marcar, etc.

PROCEDIMIENTO

Tamaño, forma y número de las probetas

Las probetas serán de forma cilíndrica de $50,80 \pm 1.27$ mm de altura y $50,800 \pm 0,025$ mm de diámetro.

Se fabricarán por lo menos seis probetas para cada variación en proporción o calidadde los ingredientes de la mezcla.

Preparación de las mezclas

11. Procedimiento

La cantidad de mezcla necesaria para la fabricación de cada probeta se preparará mediante el siguiente procedimiento:

12. Preparación del suelo

El suelo secado al aire se pulveriza cuidadosamente para separar sus partículas, evitandoreducirlas de tamaño. Se toma para el ensayo lo que pasa por el tamiz de 6,35mm (1/4").

13. Agua en la mezcla

El agua total en la mezcla se determina por el valor de la humedad óptima del Proctor modificado, efectuado sobre el agregado pétreo sólo.

14. Emulsión aniónica

Se considera como agua total en la mezcla, toda el agua que tenga la emulsión más el 100% de ligante que contenga dicha emulsión, es decir, el porcentaje de agua será el mismo que se calcule como porcentaje teórico de emulsión.

15. Emulsión catiónica

Sólo se considerará como agua la que realmente tenga la emulsión.

Previamente a la elaboración de la mezcla, se adiciona el agua necesaria para que se complete, como agua total, la correspondiente a la óptima del Proctor modificado.

16. Contenido óptimo teórico de emulsión

Se determina mediante el cálculo de la superficie específica.

17. Composición de la mezcla

Es necesario fabricar probetas de prueba, cuyo contenido de emulsión sea el óptimo teórico, para tratar de conseguir el tamaño adecuado de 50,8 mm de diámetro y 50.8 mm de altura, corrigiéndose, si fuera necesario, los pesos de cada componente: áridos, agua y emulsión,

Manual de Carreteras del Paraguay Normas para Materiales y Ensayos de Materiales Tomo 6 - Volumen I

con el fin de obtener la altura especificada. A veces es necesario fabricar dos o tres probetas de prueba.

Una vez determinada la composición de la probeta patrón, se fabrican series de 6 probetas cada una, con variaciones de uno en uno por ciento de emulsión, de tal manera que se tengan, además del óptimo teórico, por lo menos dos valores por debajo y dos por encima de dicho valor.

La granulometría en todos los casos será pasa 1/4", o sea la obtenida en la fórmula de trabajo.

18. Emulsión asfáltica

La cantidad de emulsión asfáltica necesaria para cada mezclada se obtiene después de agitar la emulsión del recipiente de donde se extraiga, de tal manera que sea representativa.

Fabricación y curado de las probetas.

Cuando se tengan preparados el agregado, el agua y la emulsión, se vierte primero el agregado en el mezclador y se pone éste en marcha lenta, incorporándole luego el agua y agitando hasta la distribución homogénea de la misma. A continuación, se vierte la emulsión, sin parar la agitación, hasta conseguir una mezcla homogénea. Esta última fase se logra en un tiempo mínimo de 5 minutos y un máximo de 10 minutos.

19. Compactación de probetas

Obtenida una mezcla homogénea, se coloca el pistón corto de compactación dentro del molde, el cual se mantiene a unos 25 mm de altura mediante los soportes (comúnmente dos). El molde debe sujetarse convenientemente en esa posición durante la compactación inicial.

Se coloca un papel de filtro en la base del molde y a continuación se vierte en él la cantidad de mezcla que corresponda a la briqueta; se compacta inicialmente la mezcla dejando caer sobre ella el precompactador 25 veces, desde una altura de 152 mm medida desde el fondo de la probeta, girándolo sucesivamente después de cada caída.

A continuación, se coloca un papel de filtro antes de proceder a la compactación. Una vez colocado el pistón de compactación largo, y con los soportes manteniendo todavía el molde,

se aplica una carga inicial para la superficie total de la probeta de 454 kg (1000 lb) con el objeto de acomodar la mezcla contra las paredes del molde.

Se retiran entonces los soportes que mantenían levantado el molde y se comienza la verdadera compactación, aplicando una carga para la superficie total de la probeta de 2.720 kg (6000 lb) la que, una vez alcanzada, se mantiene constante durante dos minutos.

20. Curado de probetas

Terminada la compactación, se extraen las probetas aplicando una ligera carga en la parte superior por medio del pistón, de manera que la probeta se deslice de una manera suave y uniforme, apreciándose este hecho por la ausencia de carga en el manómetro de la prensa.

Con las probetas ya desmoldadas, se inicia el período de curado, llevándolas al horno regulado a la temperatura de 60 ±3°C, hasta que se haya eliminado de un 80 a 90% de la humedad de compactación, determinando este punto en una probeta elegida como control de las fabricadas.

Una vez finalizado este período de curado, se forman dos grupos de probetas así:

- a) *Grupo 1*: Conformado por la mitad de cada serie de probetas, las cuales se mantienen al aire a 25°C durante 7 días.
- b) Grupo 2: Conformado por la otra mitad de cada serie de probetas, para las cuales se anotan su peso (W1), altura media y diámetro de cada una (D1). Seguidamente se colocan, apoyando la cara que fue inferior durante la compactación, directamente sobre el fondo plano de una cubeta, en la que se echa agua hasta la mitad de su altura, que deberá mantenerse constante, de 25 mm durante 7 días, transcurridos los cuales se sacan las probetas; se seca rápidamente el agua de su superficie y se pesan (W2), midiendo además los diámetros medios de sus caras inferiores sumergidas (D2).

Nota 1: Antes de proceder a la inmersión y posterior rotura de las probetas, se deben hacer ensayos de densidad, sin emplear parafina, utilizando para esta determinación únicamente las probetas del Grupo 2. El ensayo se realiza inmediatamente antes de sumergirlas en el agua.

21. Rotura de las probetas

Pasados los 7 días se procede con la prueba de extrusión a las probetas de los dos grupos. Se monta el conjunto del anillo de soporte, anillo de ensayo y molde de ensayo, teniendo cuidado decolocar la cara inferior de compactación de las probetas hacia abajo e

introduciéndolas por la boca ancha del molde, deslizándolas a todo lo largo del mismo hasta apoyarlas suavemente sobre el anillo de ensayo. Se monta entonces la guía del pistón y el pistón de ensayo, y se apoyan sobre la cara superior de la probeta.

El conjunto de compactación se coloca centrado entre los platos de la prensa, y se aplica la carga a la probeta a una velocidad constante de 25 mm/min., obteniéndose como resultado de la extrusión, la carga máxima resistida por la probeta en el momento de la rotura.

CÁLCULOS

Se calculan los siguientes resultados para cada una de las probetas ensayadas:

22. Extrusión de las probetas curadas al aire y/o en agua

Se expresa en kg, siendo ésta la carga máxima resistida, según el apartado Fabricación y curado de las probetas.

23. Absorción de agua

Se expresa en porcentaje, y se calcula con base en los resultados obtenidos en el apartado Fabricación y curado de las probetas, Grupo 2, para cada probeta, así:

% Absorcion de agua =
$$\frac{W_2 - W_1}{W}$$
 x 100

Donde:

W1 = Peso de la probeta antes de iniciarse el curado en agua.

W2 = Peso de la probeta inmediatamente antes de someterla al ensayo de extrusión.

$$W = \frac{W_1}{(C_E \times P_E + 100)}$$

Fórmula para la cual:

W = Peso calculado del suelo seco de la probeta.

CE = Concentración de asfalto de la emulsión usada.

PE = Porcentaje de emulsión sobre áridos de la probeta.

24. Hinchamiento

Se expresa en porcentaje y se calcula con base en los resultados obtenidos en el apartado Fabricación y curado de las probetas, Grupo 2, para cada probeta, así:

%de hinchamiento =
$$\left[\frac{D^3}{D_1^3} - 1\right] \times 100$$

Donde:

D1= diámetro de la probeta antes del curado (inmersión.)

D2 = diámetro de la probeta después del curado (inmersión).

25. Densidad

Se expresa en g/cm³ y es el cociente entre el peso y el volumen de la probeta.

La extrusión tanto de las probetas curadas al aire como de las curadas en agua; absorción, hinchamiento y densidad, se presentan como promedios de los valores obtenidos en cada una de las probetas, para cada grupo de ellas, correspondientes a un determinado porcentaje de emulsión.

BIBLIOGRAFÍA

Para el Desarrollo de las **Especificaciones de Materiales de Construcción y Mantenimiento,** se realizaron los Estudios como NormasBase al:

MANUAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

Gobierno de Bolivia. Administradora Boliviana de Carreteras

Edición: APIA XXI – Ingenieros y Arquitectos Consultores.

Fecha de Edición: Febrero 2.008

MANUAL Y PLANILLAS DE ENSAYOS DE SUELOS, AGREGADOS, ASFALTO Y CONCRETO DE VENEZUELA.

Gobierno de Venezuela. Ministerio de Infraestructura

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad

FUNFALANAVIAL- Noviembre 2.003

MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA OBRAS VIALES (EM-200)

República del Perú. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción y la Dirección General de Caminos.

ICG – Instituto de la Construcción y Gerencia

Segunda Edición – Lima 2.000

También se revisó las normativas e informes vigentes:

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials.

Guide for Design of Pavement Structures and 1998 Supplement.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

Standards International, USA 2000

Especificaciones Técnicas para la Construcción de Pavimentos de

Larga Duración en el Chaco Paraguayo

República del Paraguay. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)

Proyecto realizado por: Texas Transportation Institute (TTI) — Universidad Católica de Asunción (UCA) y la Universidad Nacional de Asunción (UNA)

Financiado: USTDA – BID

Mayo 2008

Guías para la Construcción de Pavimentos de

Larga Duración en el Chaco Paraguayo (Sección 1 y Sección 2)

República del Paraguay. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)

Proyecto realizado por: Texas Transportation Institute (TTI) — Universidad Católica de Asunción (UCA) y la Universidad Nacional de Asunción (UNA)

Financiado: USTDA - BID

Mayo 2008

