Bases de cálculo y diseño de pretiles en puentes de carreteras

Nota de Servicio 1/95 S.G.C.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente
Dirección General de Carreteras
Bases de cálculo y diseño de pretiles en puentes de carreteras

Nota de Servicio 1/95 S.G.C.
INDICE

NOTA DE SERVICIO 1/95 DE LA SUBDIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION (DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS) .......................... 5

ANEXO: BASES DE CALCULO Y DISEÑO DE PRETILES ANALOGOS A LOS INCLUIDOS EN LA OC 321/95 .......................... 7

1 DEFINICION DE LA BARRERA RIGIDA DE HORMIGON .................................................. 9
1.1 Pretil prefabricado ............................................................................................................. 9
1.2 Pretil hormigonado «in situ» .......................................................................................... 25

2 DEFINICION DEL ELEMENTO SUPERIOR. BARANDILLA METALICA .................................................. 33

3 HIPOTESIS APLICADAS EN EL PROCESO DE CALCULO .................................................. 37
3.1 Modelo matemático de simulación del choque ................................................................ 37
3.2 Caracterización de las acciones aplicables en función del vehículo siniestrado ..................... 39

4 ADECUACION DE LOS PRETILES DEFINIDOS A LOS INCLUIDOS EN EL CATALOGO DE LA ORDEN CIRCULAR 317/91 T. y P. .................................................. 41
NOTA DE SERVICIO 1/95 S.G.C. SOBRE «BASES DE CALCULO Y DISEÑO DE PRETILES EN PUENTES DE CARRETERA»

En los puente, al igual que en otras disciplinas de la ingeniería civil, una vez conocidos el comportamiento de los distintos elementos constituyentes y dominada la técnica de construcción, surge de forma natural una inquietud estética.

Los puentes, como elemento constituyente de la carretera, a la que sirven, han de trascender de su esencia estructural e integrarse en la misma, pero además, la seguridad, tanto activa como pasiva de las carreteras, es una preocupación sobresaliente en esta Dirección General. Este es el motivo de la aparición de las nuevas Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos (OC 321/95).

Sin entrar en los aspectos relativos a la seguridad activa, que incluyen elementos tan genéricos como el trazado, la señalización, balizamiento, percepción visual y un largo etcétera, se considera que los puntos más sobresalientes de la seguridad pasiva, que busca minimizar las consecuencias de los accidentes, son principalmente los derivados de la salida de los vehículos de la vía.

En lo que se refiere a los puentes, los grados de libertad son sumamente restringidos; en efecto, al pasar sobre una estructura, las consideraciones de tratamiento de márgenes carecen de sentido. Resta entonces la única alternativa de interponer una barrera física, que evite que el vehículo, fuera de control, supere ciertos límites geométricos prefijados. Estas barreras físicas, denominadas pretiles, han de cumplir los requisitos funcionales exigibles a cualquier sistema de contención de vehículos.

En la actualidad, los pretiles acostumbran a ser de hormigón, pues exigen poco espacio para su implantación y correcto funcionamiento, resultando fáciles de instalar.

Al ser un elemento situado al borde del tablero, observable desde el exterior de la estructura como un elemento solidario que forma unidad con el puente, recientemente se ha despertado un natural deseo de armonizar estéticamente los pretiles con los puentes en los que se integran.

La presente Nota trata de fijar las bases de cálculo y las características que han de respetarse, con el fin de preservar el correcto funcionamiento de los pretiles, de manera que quede garantizada la seguridad. Teniendo en cuenta los puntos que a continuación se desarrollan, quedan abiertas las puertas al diseño estético que se considere oportuno acorde con la estructura.

Las características básicas que han de respetarse, cuyo desarrollo completo se acompaña en los apartados posteriores, son las siguientes:

- El pretel estará compuesto por los siguientes elementos:
  - Barrera, cuyo lado interior responderá morfológicamente a alguno de los perfiles definidos en la UNE 135.111, teniéndose en cuenta que la altura de cada tipo de barrera deberá ser medida a partir de la capa de rodadura.
  - Baranda metálica, de ineludible colocación que deberá responder en todo caso a las dimensiones y tolerancias de la ficha C.1.2/5
de las Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos (OC 321/95).

— Imposta, diseñada según los criterios estéticos del proyectista.

• Dimensiones:
  
  — El pretil ha de montar sobre el tablero cincuenta centímetros (50 cm), si bien excepcionalmente podrá reducirse hasta un valor mínimo de cuarenta y dos centímetros (42 cm).
  
  — La parte superior del pretil tendrá un ancho mínimo de veintitrés centímetros (23 cm).
  
  — Las secciones que sobresalgan del borde del tablero al exterior del puente en ningún caso lo harán más de treinta y cuatro centímetros (34 cm), siendo aconsejable no superar los veinticinco centímetros (25 cm).

• Unión con el tablero:
  
  — A efectos de cálculo de esfuerzos se considerará una fuerza horizontal a nivel del borde superior del elemento de contención de 280 KN, aplicada perpendicularmente al elemento considerado.
  
  — En el caso del pretil prefabricado, la unión con el tablero se realizará a través de anclaje dúctil.
  
  — En los pretiles ejecutados «in situ», la fijación con el tablero se establecerá a partir de cercos.

• Continuidad:
  
  — En los pretiles prefabricados se garantizará la continuidad física de su superficie mediante módulos superiores a seis metros (6 m de longitud, quedando expresamente prohibidos los diseños en los que existan elementos discontinuos o susceptibles de ser desgados en caso de impacto de un vehículo.

Los extremos de los módulos serán machihembrados estando las huelas previstas a tal efecto caracterizadas por los siguientes parámetros

• Su altura será la misma que la del pretil.
• Su profundidad será superior a 6 cm en el extremo macho y a 7 cm en el extremo hembra.
• Su ancho mínimo será de 11 cm.

La unión de piezas se desarrollará mediante una pletina atornillada de 10 mm de espesor) y mediante un manguito de unión que dé continuidad a la necesaria barra Ø 20 pretensada que debe ir alojada en la parte superior del pretil.

— En los pretiles «in situ» la continuidad de la barrera quedará garantizada mediante el correcto hormigonado de toda la superficie involucrada a lo largo de la longitud a instalar.

A título de ejemplo, se adjunta a esta nota de servicio, un anexo con las bases de cálculo y el diseño de un conjunto de pretiles análogos a los incluidos en la OC 321/95.

Madrid, Abril de 1995

EL SUBDIRECTOR GENERAL DE CONSTRUCCIONES
Fdo. Juan F. Lazcano Acedo
BASES DE CÁLCULO Y DISEÑO DE PRETILES ANALÓGOS A LOS INCLUIDOS EN LA OC 321/95
DEFINICION DE LA BARRERA RIGIDA DE HORMIGON

1.1. PRETIL PREFABRICADO

Su principal característica es la unión en una sola pieza prefabricada de la barrera rígida de hormigón y de la imposta, simplificando de este modo la ejecución del pretil y permitiendo una fácil sustitución en caso de daños tras un impacto.

Por lo que respecta a las condiciones geométricas de la barrera, la cara interior se ajusta al perfil «New Jersey» dictado por la Norma, mientras que en lo referido a la imposta se presentan dos soluciones:

— **Solución C.1.6.** Esta solución se caracteriza por presentar una imposta circular de 109 cm de altura.

— **Solución C.1.7.** Esta solución incluye una imposta recta de 108 cm.

En ambos casos, las piezas prefabricadas son de 6 m de longitud y están conectadas al tablero mediante 4 anclajes Ø 20 pretensadas a 160 KN de acero de alta resistencia 85/105. La unión de las piezas entre sí queda resuelta mediante el uso de barras Ø 20 pretensadas a 90 KN de acero con límite elástico (al 0,2 %) de 550 N/mm² y tensión mínima de rotura 680 N/mm².

Por último hay que indicar que la barrera rígida está fabricada en hormigón H-350 y acero corrugado AEH-500.
**PRETIL DE HORMIGÓN PREFABRICADO CON BARANDA PWJ6/1-14b**

<table>
<thead>
<tr>
<th>EMPLEO</th>
<th>DEFINICIÓN</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>En los márgenes de obras de paso existentes o nuevas. En los accesos a las obras de paso. En la zona central entre dos obras de paso paralelas situadas a distancia ≤ 3m. El empleo de la baranda garantiza un mejor comportamiento de la barrera ante el choque de un vehículo pesado.</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>CLASE</th>
<th>P</th>
</tr>
</thead>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>COMPORTAMIENTO ESPERADO</th>
<th>VEHÍCULO LIGERO</th>
<th>AUTOBÚS</th>
<th>VEHÍCULO PESADO</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Disipación de energía</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de redireccionamiento</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de ser franqueado</td>
<td>Nula</td>
<td>Escasa</td>
<td>Media</td>
</tr>
<tr>
<td>Deformabilidad</td>
<td>Nula</td>
<td>Escasa</td>
<td>Escasa</td>
</tr>
<tr>
<td>Conservación</td>
<td>Óptima</td>
<td>Óptima</td>
<td>Buena</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**FECHA APROBACIÓN**

15/03/95

<table>
<thead>
<tr>
<th>MATERIALES</th>
<th>NORMAS UNE</th>
<th>OTRAS NORMAS</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Hormigón ($f_c=35$ N/mm²)</td>
<td>UNE 135.111</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Armaduras: AEH500</td>
<td>UNE 135.112</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Acero: A42b</td>
<td>EH 91</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
BARRAS DE PRETENDIDO DE ANCLAJE DE LA BARRERA AL TABLERO

CALIDAD DEL ACERO:
Aceros de alta resistencia, calibrados 85/150, tratados a media calor. Las barras serán fundidas y entintadas. Los procedimientos de fundición serán certificados y la certificación se entregará a la propietaria de los intereses.

RESISTENCIA DE LAS BARRAS:
Carga de rotura característica: 400 MPa, 325 MPa
Límite elástico en oído: 240 MPa
287 MPa

Todos los ensayos y ensayos estarán incluidos para transmitir la carga de rotura de las barras resistente tal como se define en el barrido (G400) sobre cargas estáticas y dinámicas.

RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES:
La carga de rotura de los alicates no excederá el valor de 92% de la rotura residual de la barra.

TRATAMIENTO:
- DEHIDRATACIÓN: Se procederán ante una media de 15% de la rotura.
- GALVANIZADO: Fue inmaculada en caliente con un recubrimiento mínimo de 100 gramos según norma SAC 0590.
- POST-GALVANIZADO: Puesta en marcha con un recubrimiento mínimo de 100 gramos.

TIER DE BARRAS: Se teñirán con una carga de 150 g/m².

NOTA: LAS BARRAS DE Fijación se colocarán de forma que se mantenga un espacio de 0.40 mm.

PLACA DE PVC

CÓDIGO EN LA PLAQUETA DE PVC

BARRAS DE FIJACIÓN DE LA BANDERA

CALIDAD DEL ACERO:
Aceros de alta resistencia, calibrados 85/150, tratados a media calor. Las barras serán fundidas y entintadas. Los procedimientos de fundición serán certificados y la certificación se entregará a la propietaria de los intereses.

RESISTENCIA DE LAS BARRAS:
Carga de rotura característica: 400 MPa, 325 MPa
Límite elástico en oído: 240 MPa
287 MPa

 Todos los ensayos y ensayos estarán incluidos para transmitir la carga de rotura de las barras resistente tal como se define en el barrido (G400) sobre cargas estáticas y dinámicas.

RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES:
La carga de rotura de los alicates no excederá el valor de 92% de la rotura residual de la barra.

TRATAMIENTO:
- DEHIDRATACIÓN: Se procederán ante una media de 15% de la rotura.
- GALVANIZADO: Fue inmaculada en caliente con un recubrimiento mínimo de 100 gramos según norma SAC 0590.
- POST-GALVANIZADO: Puesta en marcha con un recubrimiento mínimo de 100 gramos.

TIER DE BARRAS: Se teñirán con una carga de 150 g/m².

NOTA: LAS BARRAS DE Fijación se colocarán de forma que se mantenga un espacio de 0.40 mm.

PLACA DE PVC

CÓDIGO EN LA PLAQUETA DE PVC

BARRAS DE FIJACIÓN DE LA BANDERA
**PRETIL DE HORMIGÓN PREFABRICADO CON BARANDA**

**DEFINICIÓN**

C.1.7/1

<table>
<thead>
<tr>
<th>FICHAS A CONSULTAR</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>C.1.1/4</td>
</tr>
<tr>
<td>C.1.2/3</td>
</tr>
<tr>
<td>C.1.2/4</td>
</tr>
<tr>
<td>C.1.2/5</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**EMPLEO**

En los márgenes de obras de paso existentes o nuevas. En los accesos a las obras de paso. En la zona central entre dos obras de paso paralelas situadas a distancia ≤ 3m. El empleo de la baranda garantiza un mejor comportamiento de la barrera ante el choque de un vehículo pesado.

**CLASE**

P

<table>
<thead>
<tr>
<th>COMPORTAMIENTO ESPERADO</th>
<th>VEHÍCULO LIGERO</th>
<th>AUTOBÚS</th>
<th>VEHÍCULO PESADO</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Disipación de energía</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de redireccionamiento</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de ser franqueado</td>
<td>Nula</td>
<td>Escasa</td>
<td>Media</td>
</tr>
<tr>
<td>Deformabilidad</td>
<td>Nula</td>
<td>Escasa</td>
<td>Escasa</td>
</tr>
<tr>
<td>Conservación</td>
<td>Óptima</td>
<td>Óptima</td>
<td>Buena</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**FECHA APROBACIÓN**

15/03/95

**FECHA ÚLTIMA REVISIÓN**

<table>
<thead>
<tr>
<th>MATERIALES</th>
<th>NORMAS UNE</th>
<th>OTRAS NORMAS</th>
</tr>
</thead>
</table>
| Hormigón ($f_{c} ≈ 35$ N/mm²) | UNE 135.111  
UNE 135.112  | EH 91         |
| Armaduras: AEH500 |             |              |
| Acero: A42b          |             |              |
| Barra y manguito: tipo «Diwidag» |     |              |
1.2. PRETIL HORMIGONADO «IN SITU»

Consiste en el hormigonado de la barrera rígida «in situ» sobre una imposta prefabricada colocada con anterioridad.

Entre las características geométricas de la barrera cabe resaltar, al igual que en el caso del pretil prefabricado, que la cara interior se ajusta al perfil «New Jersey», mientras que la imposta presenta dos tipologías distintas:

— **Solución C.1.8.** La imposta es circular de 108 cm de altura.

— **Solución C.1.9.** La solución N.º 4 se caracteriza por incluir una imposta recta de 108 cm de altura.

Por último, y por lo que respecta a los materiales a emplear, destaca que la barrera rígida de hormigón deberá ser construida en hormigón H-350 y acero corrugado AEH-500.
PRETIL DE HORMIGÓN "IN SITU" CON BARANDA
PXEOJ0/1-14a

<table>
<thead>
<tr>
<th>EMPLEO</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>En los márgenes de obras de paso existentes o nuevas con radio en planta menor que 150 m. y mayor o igual que 75 m.</td>
</tr>
<tr>
<td>En los accesos a las obras de paso con radios en planta menor que 150 m. y mayor o igual que 75 m.</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>CLASE</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>P</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>COMPORTAMIENTO ESPERADO</th>
<th>VEHICULO LIGERO</th>
<th>AUTOBÚS</th>
<th>VEHICULO PESADO</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Disipación de energía</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de redireccionamiento</td>
<td>Buena</td>
<td>Media</td>
<td>Media</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de ser franqueado</td>
<td>Nula</td>
<td>Escasa</td>
<td>Media</td>
</tr>
<tr>
<td>Deformabilidad</td>
<td>Nula</td>
<td>Nula</td>
<td>Nula</td>
</tr>
<tr>
<td>Conservación</td>
<td>Óptima</td>
<td>Óptima</td>
<td>Buena</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>FECHA APROBACIÓN</th>
<th>FECHA ÚLTIMA REVISIÓN</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>15/03/95</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>MATERIALES</th>
<th>NORMAS UNE</th>
<th>OTRAS NORMAS</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Hormigón ($f_p=35 N/mm^2$)</td>
<td>UNE 135.111</td>
<td>EH 91</td>
</tr>
<tr>
<td>Armaduras: AEH500N</td>
<td>UNE 135.112</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Acero: A42b</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>
EMPLEO

En los márgenes de obras de paso existentes o nuevas con radio en planta menor que 150 m. y mayor o igual que 75 m.
En los accesos a las obras de paso con radios en planta menor que 150 m. y mayor o igual que 75 m.

CLASE

P

<table>
<thead>
<tr>
<th>COMPORTAMIENTO ESPERADO</th>
<th>VEHÍCULO LIGERO</th>
<th>AUTOBÚS</th>
<th>VEHÍCULO PESADO</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Disipación de energía</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
<td>Buena</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de redireccionamiento</td>
<td>Buena</td>
<td>Media</td>
<td>Media</td>
</tr>
<tr>
<td>Posibilidad de ser franqueado</td>
<td>Nula</td>
<td>Escasa</td>
<td>Media</td>
</tr>
<tr>
<td>Deformabilidad</td>
<td>Nula</td>
<td>Nula</td>
<td>Nula</td>
</tr>
<tr>
<td>Conservación</td>
<td>Óptima</td>
<td>Óptima</td>
<td>Buena</td>
</tr>
</tbody>
</table>

FECHA APROBACIÓN

15/03/95

MATERIALES

Hormigón ($f_p=35$ N/mm²)
Armaduras: AEH500N
Acero: A42b

NORMAS UNE

<table>
<thead>
<tr>
<th>UNE 135.111</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>UNE 135.112</td>
</tr>
</tbody>
</table>

OTRAS NORMAS

| EH 91 |
PRETIL DE HORMIGON "IN SITU" 
CON BARANDA 
PXEXO/1-14b

ELEMENTOS CONSTITUYENTES Y ARMADURAS

SECCION A - A
ESCALA 1/15
COTAS EN CM.

ALZADO IMPOSTA Y BARANDA
ESCALA 1/15
COTAS EN CM.

DETALLE DE IMPOSTA PREFABRICADA
ESCALA 1/10
COTAS EN CM.

CONDICIONES
HORMIGON: EN BARRERA: H-300; f_{cu}=300 Kp/cm².
ADERE: CORRUGADO: Sistema d. ADH-500;
            f_{ku}=500 Kp/cm².
NIVELES DE CONTROL:
MATERIALES: Intensos: y_{p}=1,5; y_{e}=1,5
EXECUCION: Intensos: y_{p}=1,5

BARRAS DE ANCLAJE DE LA BARANDA
CALIDAD DEL ACERO: 600 Kp/cm²
TENSION MÍNIMA DE RUTA: 500 Kp/cm²
 Todos los accesorios y anclajes están diseñados para transmitir la carga de rotura de las barras.
GALVANIZADO: Por impermeabilizante en caliente con un recubrimiento mínimo de aluminio 400g/m².

NOTA: LOS REQUERIMIENTOS SERÁN DE 2,0 CM. 
A LA BARRA EXTERIOR, EXCEPTO LOS INDICADOS.

SECCION 1-1
ESCALA 1/10
COTAS EN CM.

SECCION 2-2
ESCALA 1/10
COTAS EN CM.

SECCION 3-3
ESCALA 1/10
COTAS EN CM.

SECCION 4-4
ESCALA 1/10
COTAS EN CM.
DEFINICION DEL ELEMENTO SUPERIOR.
BARANDILLA METALICA

La baranda metálica aplicable al pretil podrá ser la definida en la OC 321/95, si bien presentamos aquí un ejemplo de similares características al allí empleado y que como tal podrá también ser empleado.

La barandilla metálica está constituida por elementos verticales de sujeción ubicados cada 3 m a lo largo de la longitud del tablero del puente, anclados a la barrera rígida de hormigón por 2 barras Ø 20 y 2 barras Ø 25 de Acero AEH-500 N, y por una baranda de tubo con diámetro exterior 139,7 mm y espesor 12,5 mm de Acero AE 275-B-FN-KP (F6210), estando fabricados los pies de la baranda de acero moldeado F1 120 (C25K).

La función principal de estas barandillas es evitar el posible vuelco de vehículos pesados, así como dotar al conjunto de la barrera de un mayor nivel de infranqueabilidad.

Se ha dispuesto un tubo capaz de repartir el impacto localizado en una longitud suficiente para soportar la solicitud impuesta.

En la figura adjunta se pueden apreciar las principales características geométricas del elemento definido.
Como primera hipótesis, tomaremos como estimación de la aceleración y de la fuerza ejercida por el impacto de un vehículo determinado, el modelo matemático propuesto por Olson, Post y Mc Farland, que tiene su base de aplicación en las siguientes hipótesis simplificadoras:

- Se desprecian las aceleraciones verticales del vehículo.
- La componente transversal de la velocidad es nula en el instante en que el vehículo se coloca paralelamente a la barrera.
- El vehículo es redirigido por la barrera sin experimentar movimientos de rotación en "zig-zag".
- El centro de gravedad del vehículo no cambia apreciablemente, aunque su carrocería sufra daños y deformaciones durante el choque.
- El vehículo se mueve como si toda su masa estuviese concentrada en su centro de gravedad.
- La barrera puede ser rígida \((D=0)\) o flexible \((D>0)\).
- Se desprecia la fuerza de rozamiento entre los neumáticos del vehículo y el pavimento de la carretera.
- El parapeto o barrera no presenta discontinuidades que podrían provocar movimientos verticales bruscos del vehículo.

En virtud de las mencionadas hipótesis podemos caracterizar las siguientes magnitudes:

- Deceleración media transversal durante el choque:
  
  \[ a_n = \frac{V_n^2}{2} \times S_n \]

  donde:

  \(V_n = VE \times \text{sen } \Theta\) (velocidad transversal)

  \(S_n = A \times \text{sen } \Theta - B \times (1-\cos \Theta)\)

- Fuerza media transversal durante el choque:
  
  \[ F_n = m \times \frac{V_n^2}{2} \times S_n \]

siendo:

- \(A\): distancia desde el centro de gravedad del vehículo hasta su parte frontal.
- \(2B\): anchura del vehículo.
- \(VE\): Velocidad del vehículo antes del impacto.
- \(\Theta\): ángulo de impacto.
- \(m\): masa del vehículo.

A continuación se adjunta una figura aclaratoria de lo anteriormente expuesto.
Instante en que el vehículo choca contra la barrera.

Instante en que el vehículo se sitúa paralelo a la barrera.

\[ F_t = \frac{m V_E^2 \sin^2 \Theta}{2[A \sin \Theta - B(1 - \cos \Theta) + D]} \]

Desplazamiento de la barrera

MODELO MATEMÁTICO PARA SIMULAR EL CHOQUE VEHÍCULO-BARRERA.
Con el objeto de obtener las acciones aplicables como hipótesis válida de cálculo acudimos a la normativa vigente (O.C. 317/91 T y P) en busca de la clasificación de los vehículos a tener en cuenta a la hora de ejecutar el cálculo. Esta clasificación se corresponde con la siguiente tabla:

**CONDICIONES DEL ENSAYO PRINCIPAL DE CHOQUE**

<table>
<thead>
<tr>
<th>CLASE</th>
<th>TIPO DE VEHÍCULO</th>
<th>MASA DEL VEHÍCULO (kg)</th>
<th>VELOCIDAD (km/h)</th>
<th>ANGULO (°)</th>
<th>ALTURA C.D.G. (m)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>L1</td>
<td>LIGERO</td>
<td>1.500</td>
<td>80</td>
<td>20</td>
<td>0,53</td>
</tr>
<tr>
<td>L2</td>
<td>LIGERO</td>
<td>1.500</td>
<td>110</td>
<td>20</td>
<td>0,53</td>
</tr>
<tr>
<td>M</td>
<td>AUTOBUS</td>
<td>13.000</td>
<td>70</td>
<td>20</td>
<td>1,20</td>
</tr>
<tr>
<td>P</td>
<td>ARTICUL.</td>
<td>38.000</td>
<td>65</td>
<td>20</td>
<td>1,65</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Así, una vez conocidos estos datos y de acuerdo con la norma EN 13-17 del Comité Europeo de Normalización, aplicamos el modelo matemático de Olson, Post y Mc Farland, definido en el apartado anterior, obteniendo de este modo los siguientes resultados:

<table>
<thead>
<tr>
<th>CLASE</th>
<th>NIVEL DE CONTENC. Norma CEN</th>
<th>TEST</th>
<th>ENERGIA CINETICA (KJ)</th>
<th>ACCELER. MEDIA (G)</th>
<th>FUERZA MEDIA (KN)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>L1</td>
<td>N1</td>
<td>TB31</td>
<td>43,3</td>
<td>4,6</td>
<td>68,6</td>
</tr>
<tr>
<td>L2</td>
<td>N2</td>
<td>TB32</td>
<td>81,9</td>
<td>8,6</td>
<td>129,7</td>
</tr>
<tr>
<td>M</td>
<td>H2</td>
<td>TB51</td>
<td>287,5</td>
<td>10,7</td>
<td>139,5</td>
</tr>
<tr>
<td>P</td>
<td>H4b</td>
<td>TB81</td>
<td>724,6</td>
<td>7,4</td>
<td>279,5</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Como conclusión de los resultados anteriormente expuestos aplicaremos para todas nuestras hipótesis de cálculo una acción de 28 Tn.
La normativa que regula actualmente en España la implantación de barreras de seguridad en carreteras es la Orden Circular 321/H T. y P. de Recomendación de Sistemas de Contención de Vehículos.

Con respecto a la adaptación de este estudio a la mencionada Orden Circular, cabe mencionar lo siguiente:

- La geometría del pretil diseñado se ajusta a lo estipulado en la norma referida en lo que respecta a altura mínima y perfil tipo «New Jersey».
- Se han utilizado como hipótesis de cálculo las acciones establecidas por la mencionada Orden Circular para la Clase P.
- La baranda es similar tanto en su geometría como en sus características resistentes a la indicada por la Orden Circular.