

**“Reducción del impacto ambiental,
Medidas de diseño: Planta y Alzado”**

Nombre: Justo Borrajo Sebastián

Dr. Ingeniero de Caminos

Febrero 2004

CARRETERAS DE BAJO IMPACTO. MEDIDAS DE DISEÑO: PLANTA Y ALZADO

JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

“Vivir velozmente es el anticipo
de morir prematuramente”

RESUMEN

En esta comunicación se analizan las posibilidades de compatibilizar los objetivos de economía, seguridad e integración ambiental en las carreteras de la red estatal española, distinguiendo entre carreteras urbanas, periurbanas y en campo abierto con diferentes tipologías: autovías, autopistas, nuevas carreteras y acondicionamientos.

1. INTRODUCCIÓN

El diccionario de la Real Academia de la Lengua define el término impacto como “choque con penetración”, lo que justifica la apreciación negativa que el mismo produce. Sin embargo, se olvidan muchos aspectos positivos de las carreteras como la recuperación de entornos degradados, la ruptura de la monotonía del paisaje, la estructuración de hábitats dispersos, la creación de itinerarios pintorescos en entornos valiosos, la coordinación con otros usos recreativos, los miradores y aparcamientos y las revegetaciones.

Los problemas surgen, en muchos casos, desde el mismo momento de la concepción del diseño de una carretera. Así, es bastante común creer que una carretera es mejor cuanto mayor sea su velocidad de proyecto independientemente de la demanda global de tráfico que deba soportar, de la composición y origen-destino de los vehículos que la utilicen y del territorio en que se inserte. En el límite, parece que el óptimo sería una red estatal homogénea de autopistas con velocidad de proyecto 120 Km/h, y hay que dejar claro desde el primer momento que **aplicar soluciones iguales a problemas diferentes no es nunca una buena solución.**

Para justificar soluciones que, a veces, podrían tildarse de faraónicas suele invocarse la normativa de trazado vigente, olvidándose que la Norma de Trazado 3.1-IC establece en su preámbulo: “En proyectos de carreteras urbanas, de carreteras de montaña y de carreteras que discurran por espacios naturales de elevado interés ambiental o acusada fragilidad y de mejoras locales en carreteras existentes, podrán disminuirse las características exigidas en la presente Norma justificándose adecuadamente”. El problema es que no suele utilizarse esta posibilidad, pues los proyectistas -ingenieros de caminos en su mayoría- consideran que lo mejor es la carretera con los parámetros de trazado más amplios posibles dentro de la Norma, lo que además elimina posibles responsabilidades por problemas posteriores y permite trabajar menos al no tener que justificar técnicamente soluciones más innovadoras.

Otro de los problemas para el diseño de carreteras de bajo impacto seguras y económicas es que es muy difícil establecer principios generales que sirvan para todos los casos: NO HAY

RECETAS, y debe ser el entorno en el que se va a insertar la carretera el que mande, diferenciando claramente los ecosistemas y su expresión como paisaje. Sin embargo, si es posible enunciar algunos criterios que son válidos en general:

- El objetivo no debe ser siempre ocultar, sino integrar.
- Hay que distinguir entre carreteras urbanas, periurbanas y en campo abierto, y las diferentes tipologías (autovías, autopistas, nuevas carreteras, acondicionamientos, etc.); ya que en unos casos primarán los aspectos de ruido y emisiones y en otros la fragmentación de hábitats o la afección a espacios protegidos, etc.
- Hay que distinguir entre la observación del paisaje desde la carretera y de la carretera en el paisaje.

En el primer caso la velocidad de circulación juega un papel determinante, pues el área efectiva de visión se reduce y se aleja según aumenta la velocidad (Figura 1), por lo que en autopistas de velocidad de proyecto 120 Km/h lo más importante respecto al paisaje sea su percepción desde el exterior.

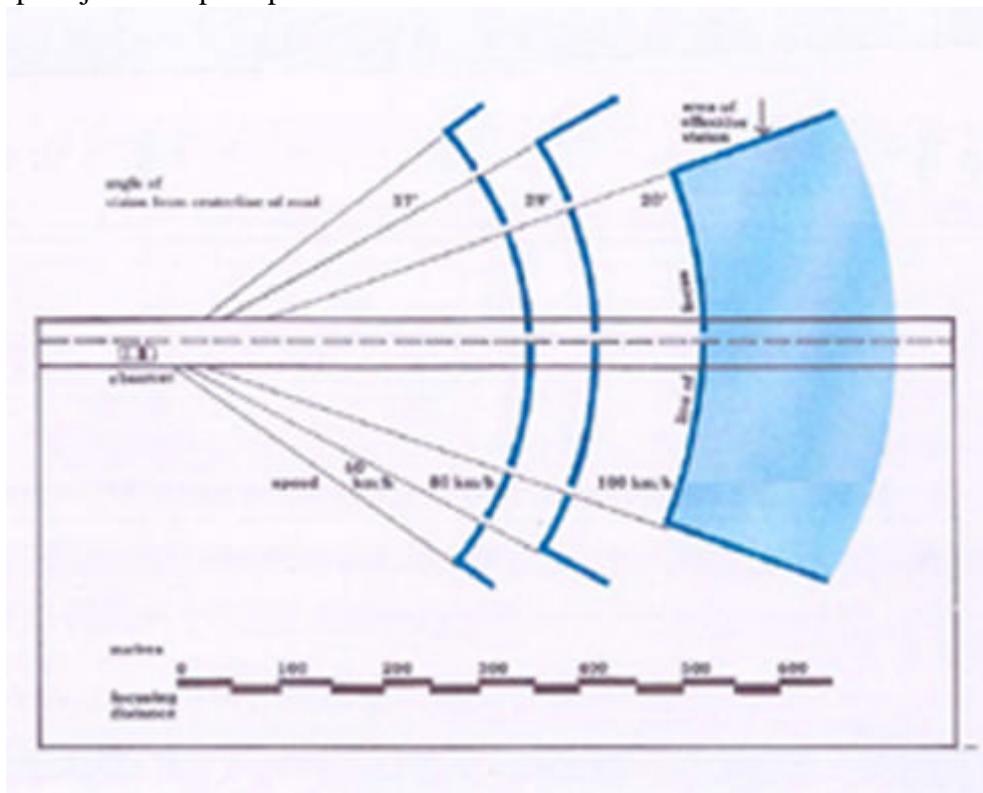


Figura 1

2. DIRECTRICES, RECOMENDACIONES Y GUÍAS

En numerosos países existen publicaciones para la integración ambiental y paisajística de las carreteras. En general, son consejos y ejemplos de buena y mala práctica que tienen como objetivo informar e inspirar a los proyectistas, distinguiendo en todos los casos entre ecosistema y paisaje, y entre nuevas carreteras y acondicionamientos.

Como ejemplos de este tipo de Guías conviene pasar revista a los principios generales y estructura de la Guía de la Administración Británica y a la del Departamento de Transportes de Canadá. Ambas presentan fotografías y dibujos con ejemplos de soluciones adecuadas o no, para diferentes casos particulares.

La Guía de la Administración Británica dedicada a las nuevas carreteras consta de siete apartados:

- 1) Forma del terreno y trazado
- 2) Plantaciones, vegetación y suelos
- 3) Integración en los paisajes rurales
- 4) El corredor de la carretera
- 5) Protección de la naturaleza
- 6) Patrimonio
- 7) Contratos y conservación

donde se pasa revista y se dan consejos y normas de buena práctica para la integración ambiental de las nuevas carreteras, desde su concepción inicial hasta el final de su conservación, con una visión transversal del medio que debe estar presente en toda actuación de la Administración. Así, por ejemplo en la Figura 2 se puede observar como se desaconseja una plantación lineal constante a lo largo de una carretera para evitar la monotonía, creando perspectivas a elementos singulares del paisaje circundante.



El Departamento de Transportes de Canadá clasifica ecosistemas y paisajes asociados en diferentes regiones del país, y establece los condicionantes que cada uno de ellos impone para la ubicación, proyecto, construcción y mantenimiento de las carreteras.

En lo referente al paisaje, establece cuatro características principales que influyen en el proyecto de una carretera: **Escala, continuidad, diversidad y orden**. La escala influye en la longitud de las alineaciones y elementos verticales, así, por

ejemplo, en un paisaje llano sin vegetación de porte importante la señalización vertical de la carretera será un elemento destacable. La continuidad es muy importante a la hora de ubicar y diseñar las estructuras y los movimientos de tierra. La diversidad es determinante a la hora de elegir los puntos de orientación de las alineaciones y puntos de vista desde la carretera. Por último, el orden será el que establezca que horizontes son percibibles y cuales no.

En cuanto a los ecosistemas, son los que establecen cuales de los cuatro elementos antes citados respecto al paisaje pueden percibirse. Así, en una zona de bosque no podrán hacerse visibles las relaciones de orden, y en una zona llana habrá que buscar elementos singulares que localicen la visión para romper la monotonía utilizando curvas de gran radio.

En general, todas las Guías incorporan principios generales que son beneficiosos para lograr la integración de la carretera en el medio. Entre los más citados están los siguientes:

- ? La integración en el medio y en el paisaje es beneficiosa no solo para reducir los impactos físicos y sociales, sino también para reducir los costes económicos e incrementar la seguridad y el disfrute visual de los usuarios.
- ? Todos los cambios deben ser gradualmente introducidos, por lo que el principio estético más importante en el diseño de alineaciones debe ser la continuidad.
- ? Las longitudes de las alineaciones de la carretera deben estar en relación con las que existan entre elementos singulares en el medio.
- ? Es más fácil determinar la integración conseguida con esquemas que en fotos del natural, ya que aquellos permiten destacar solamente los elementos más significativos del paisaje.

En España no se dispone aún de unas Recomendaciones o Guía sobre el diseño de carreteras que las integren en el medio, lo cual no quiere decir que no se tenga en cuenta éste en los estudios y proyectos, pero más con la filosofía de ocultar para minimizar impactos con medidas correctoras, a veces muy costosas como los túneles, que con la visión de integrar.

3. FIJACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TRAZADO

En las órdenes de estudio de los estudios informativos de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento se establece como variable fundamental del trazado la velocidad de proyecto, considerando principalmente los costes unitarios máximos en función del tipo de terreno atravesado. Así, en autovías si se superan los 3,8 MEUR/Km. la velocidad de proyecto deberá reducirse de 120 Km/h a 100 Km/h, y si se superan los 5,6 MEUR/Km hay que bajar a 80 Km/h. También, en caso de afectarse espacios protegidos de la Red Natura 2000 se ordena reducir las características geométricas por razones estrictamente ambientales, sobre todo la velocidad de proyecto y la anchura de la mediana, llegándose a aprovechar la carretera existente para un sentido o a adaptar totalmente el trazado de la nueva autovía a dicha carretera.

Sería conveniente obligar a estudiar, en los casos de fuerte incidencia ambiental, las repercusiones económicas, ambientales y de seguridad de trazados con velocidades de proyecto de 120 Km/h y 80 Km/h, para conocer en ambos casos alturas máximas de terraplenes y desmontes, volumen total y equilibrio en el movimiento de tierras, etc. de manera que se pudiese decidir con mayor objetividad sobre estos temas tan controvertidos y opinables, sin que se tengan en muchos casos datos fiables sobre las influencias mutuas en el trinomio coste-seguridad-

impacto ambiental. No obstante, sí se puede asegurar que existen autopistas en España con velocidad de proyecto 80 Km/h que presentan índices de accidentalidad similares a otras con velocidad de proyecto 120 Km/h, y que una de las variables que más influyen en la seguridad es la diferencia entre la velocidad de circulación de los vehículos y la velocidad de proyecto, y no solo ésta.

3.1. Trazado en planta

De los dos elementos del trazado en planta: rectas y curvas, las primeras crean un fuerte sentido de dirección por lo que permiten centrar la visión en elementos destacables del paisaje, y una mayor oportunidad de adelantamientos en carreteras convencionales. Sin embargo, en paisajes muy homogéneos, como por ejemplo La Mancha, pueden ser causa de monotonía por lo que las curvas de radio amplio son preferibles.

Las curvas permiten observar elementos cambiantes del entorno y adaptarse mejor a orografías onduladas. Están indicadas en valles amplios y perpendiculares al trazado (Figura 3), o cuando haya que cortar la línea visible del horizonte en divisorias. Además, la reducción del radio permite, en general, adaptarse mejor al terreno reduciendo el movimiento de tierras y el impacto paisajístico.



Viaducto de San Pedro. Se observa en la parte inferior la localidad de San Pedro y en el borde litoral las de Riegoarriba, Valdredo, Albuerne, etc...



Viaducto de la Concha de Artedo. Al fondo se observa la estructura que el ferrocarril utiliza para salvar el valle del Rio Uncin.

Figura 3

En cuanto a la sección transversal las secciones estrechas producen menor impacto, al reducir los movimientos de tierra y la superficie ocupada. Dicha reducción suele conseguirse a expensas de la mediana, aunque existen experiencias positivas en zonas urbanas de reducción del ancho de carriles. Así, en la Figura 4 puede observarse la salida de la A-3 en el barrio de Santa Eugenia de Madrid, donde se ha conseguido una sección de 4 ó 5 carriles de 3,25 m., en lugar de los 3,50 m habituales, que ha permitido una mayor capacidad con menor velocidad, disminuyendo el nivel de ruido y aumentando la seguridad. Cuando se varía el ancho de mediana la transición es mejor realizarla en curva, para evitar confusiones entre calzadas que aumente la accidentalidad.



Figura 4

En cambio, si se quieren preservar escenarios naturales o impedir edificaciones próximas es mejor secciones amplias, que pueden llegar a los 100 m en vías parque, confirmándose de esta manera que no hay recetas válidas para todos los casos, y que la mejor solución es la que más se adapta a las características y condicionantes de cada entorno.

3.2. Trazado en alzado

El parámetro con mayor incidencia ambiental del trazado en alzado es la inclinación máxima permitida. El aumento de la inclinación máxima en terrenos accidentados permite disminuir el volumen de movimiento de tierras, la altura de desmontes y terraplenes y la longitud de los costosos túneles y viaductos. Como ejemplo cabe citar que un incremento del 5 por 100 al 6 por

100 en la Autovía del Noroeste (A-6) permitió reducir la longitud de los túneles de Piedrafita en más de un 50 por 100.

En lo referente a desmontes y terraplenes, hay que destacar que los desmontes en trinchera permiten ocultar el trazado, aunque su altura máxima no debe superar los 30 m ya que en este caso las Declaraciones de Impacto suelen sustituirlos por túneles, bien excavados a cielo abierto y después cubiertos o bien en mina si en el terreno natural existe vegetación de valor (Figura 5).

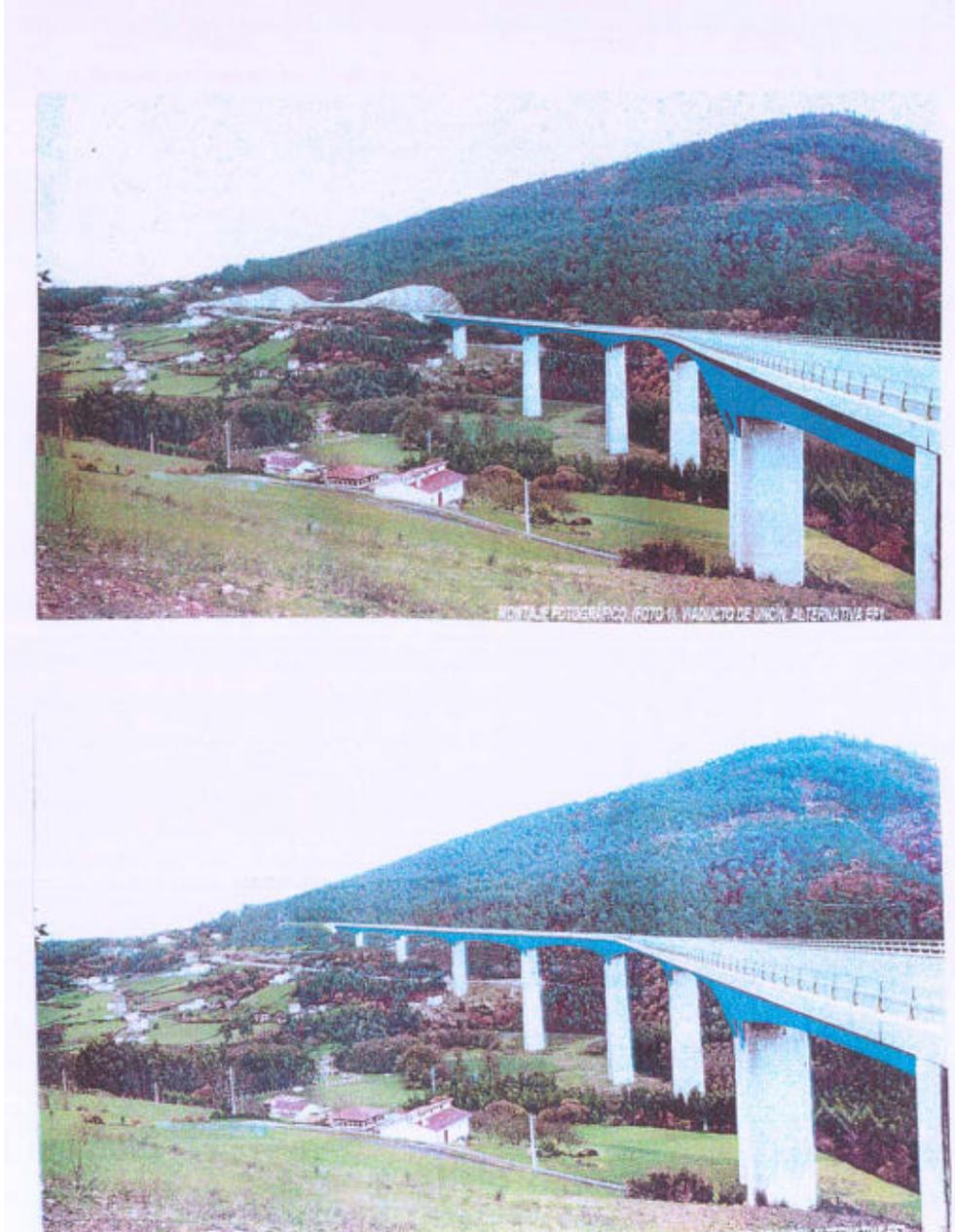


Figura 5

Los terraplenes están indicados en paisajes con constantes variaciones en las pendientes naturales y cuando su revegetación natural sea rápida.

Las pendientes de desmontes y terraplenes deben guardar un equilibrio entre su facilidad de revegetación y el incremento de expropiaciones y movimientos de tierras. También es muy importante el entorno en el que se ubican, pues en zona de prados se integrarán rápidamente aunque se tiendan mucho y podrán volver a cumplir su función inicial, mientras en zona de

bosque habrá que recurrir incluso a muros de pie para evitar cortar ejemplares de árboles maduros, aunque la integración visual de este tipo de muros es difícil y su estabilidad también.

Otra consideración a destacar es que la integración de terraplenes en terrenos llanos es difícil, pues cortan la línea del horizonte, pero como son necesarios en algunos casos, por ejemplo en accesos a pasos superiores, lo más conveniente es elegir pequeñas ondulaciones naturales del terreno para ubicarlos. La solución que a veces proponen las Declaraciones de Impacto de sustituirlos por pasos inferiores suele plantear problemas de drenaje en zonas llanas, obligando a construir drenajes de mucha longitud hasta alguna vaguada natural existente.

En cuanto al perfil longitudinal se presenta frecuentemente la disyuntiva entre terraplén y viaducto, siendo frecuente el intento de sustituir los segundos por los primeros en un intento ingenieril de ahorrar costes, aunque no esté tan claro que, en todos los casos, sea más barato un terraplén que un viaducto. Así, en la Autovía del Mediterráneo (A-7) entre Sueca y Sollana la construcción de un viaducto fue más económica que un terraplén, al tener que expropiar menos terrenos de gran valor por ser cultivos de arrozales, ser el trazado deficitario en tierras y estar los préstamos existentes muy alejados. Además, se evitaban posibles problemas de drenaje transversal (Figuras 6 y 7) que tantos problemas pueden causar en esa zona, o en zonas similares sin cauces definidos, por efecto presa ante avenidas.



Figura 6

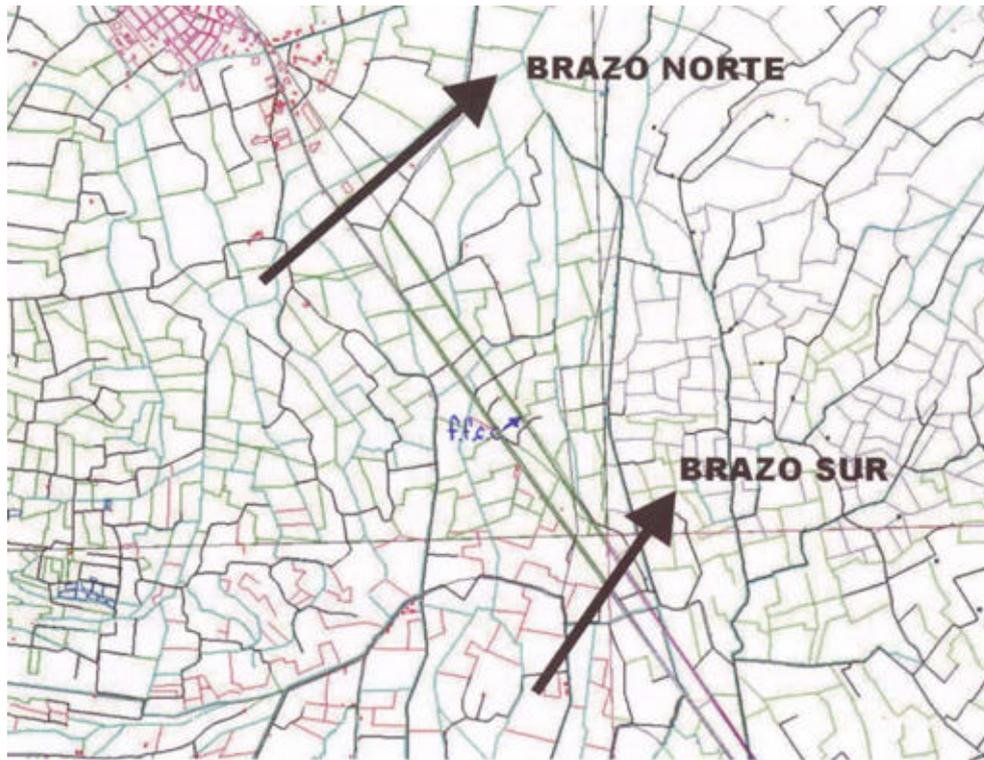


Figura 7

En la Figura 8 se puede observar la construcción de un puente de 16 vanos de 37 m sobre la Rambla de Minateda en la Autovía del Mediterráneo en Murcia, diseñado para evitar el efecto presa ante una avenida de $1.271 \text{ m}^3/\text{seg}$. Prevista con un período de retorno de 500 años.

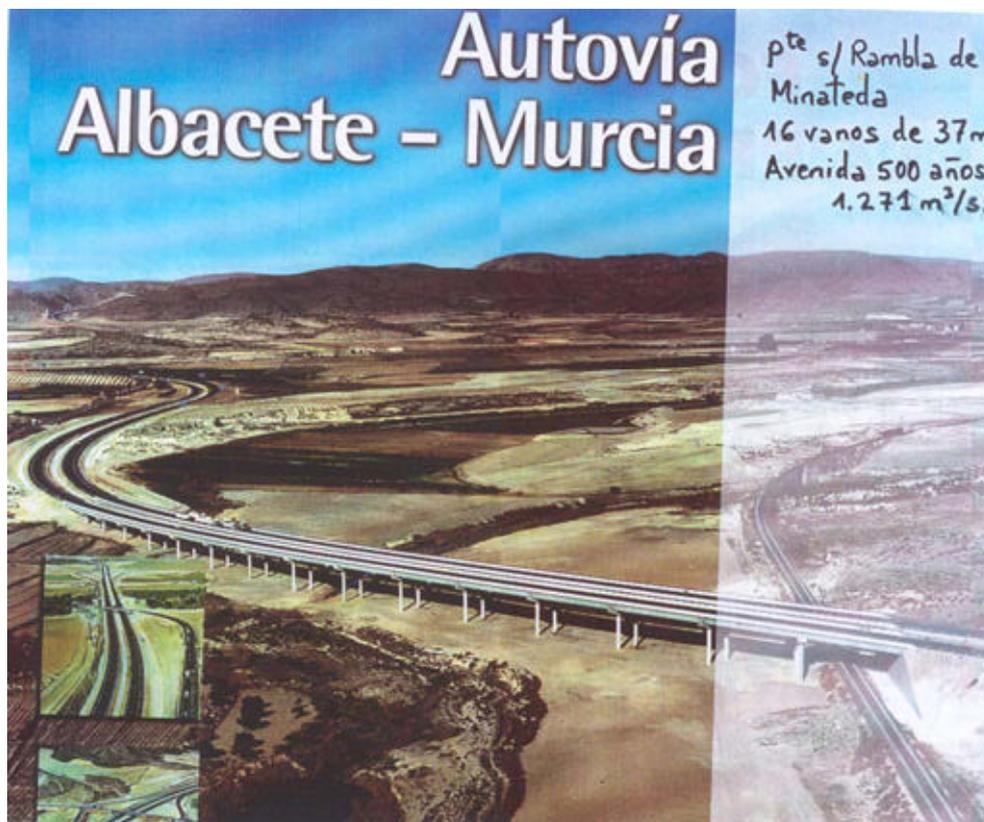


Figura 8

Por todo lo expuesto, la elección entre terraplén y viaducto se debe tomar teniendo en cuenta distintos enfoques: integración en el paisaje, permeabilidad transversal para personas, fauna y agua, costes de construcción y expropiaciones, etc. que pueden ser muy variables de unas situaciones a otras.

Por último, otro de los aspectos que se presentan frecuentemente en la integración ambiental y paisajística de las carreteras es la elección entre calzadas separadas o paralelas. La separación de calzadas puede estar indicada en trazados a media ladera para reducir los movimientos de tierra y las alturas de desmontes y terraplenes, en laderas inestables, o para aprovechar una carretera existente con trazado estricto para un sentido de circulación (Despeñaperros); pero también puede presentar problemas de explotación y conservación al tener que cortar una calzada por accidente o reparación y no poder desviar el tráfico a la otra calzada. Además, pueden presentarse problemas de seguridad por posible continuidad visual de las calzadas o por pérdidas de orientación de los conductores, por lo que no es recomendable mantener la separación de calzadas en más de 2 Km.

En las Figuras 9, 10 y 11 se puede observar el caso real del estudio de la Autovía Cuenca-Teruel, donde se comparan las soluciones de construir las dos calzadas nuevas con una pendiente máxima del 5 por 100, o, duplicar la calzada existente permitiendo pendientes del 7 por 100. También existe la posibilidad de construir una única calzada nueva para bajada y aprovechar la existente para subida, reduciendo de esta forma la accidentalidad. En el caso de la calzada nueva (única o doble) si solo se permite una inclinación máxima del 5 por 100 se producen desmontes de 40 m, mientras que si se duplica o utiliza la carretera actual (inclinaciones del 7 por 100) los desmontes y terraplenes son mínimos.

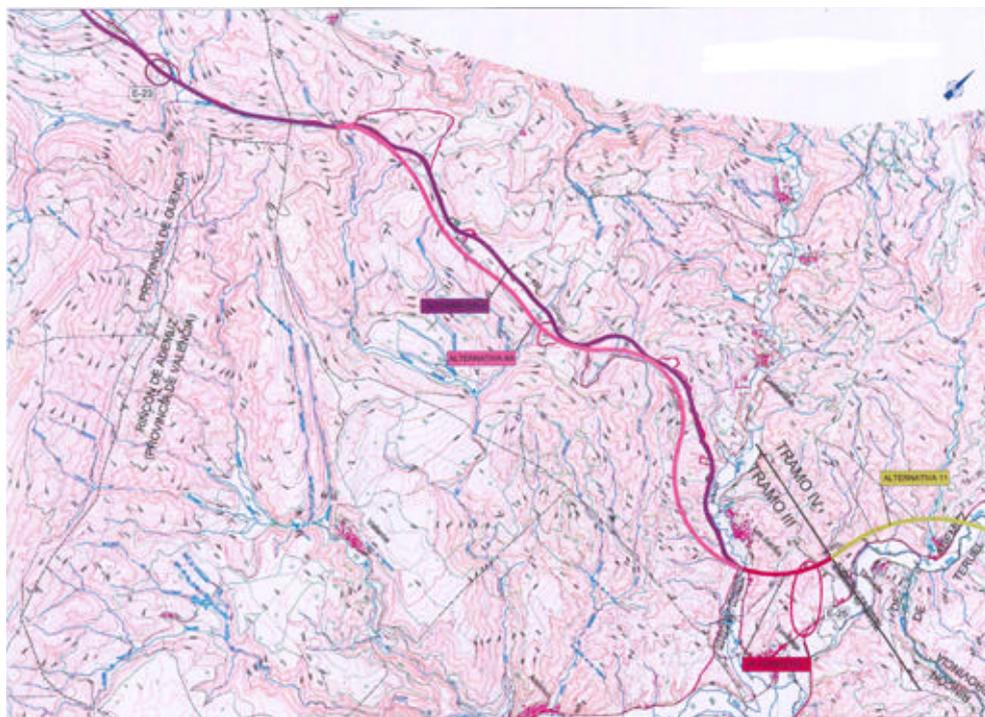


Figura 9

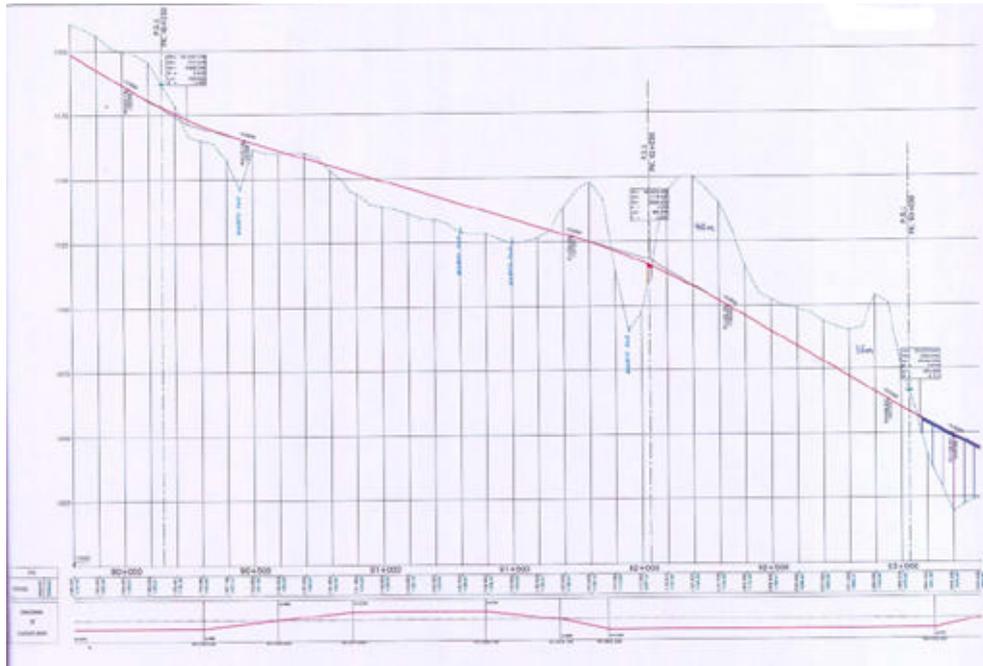


Figura 10

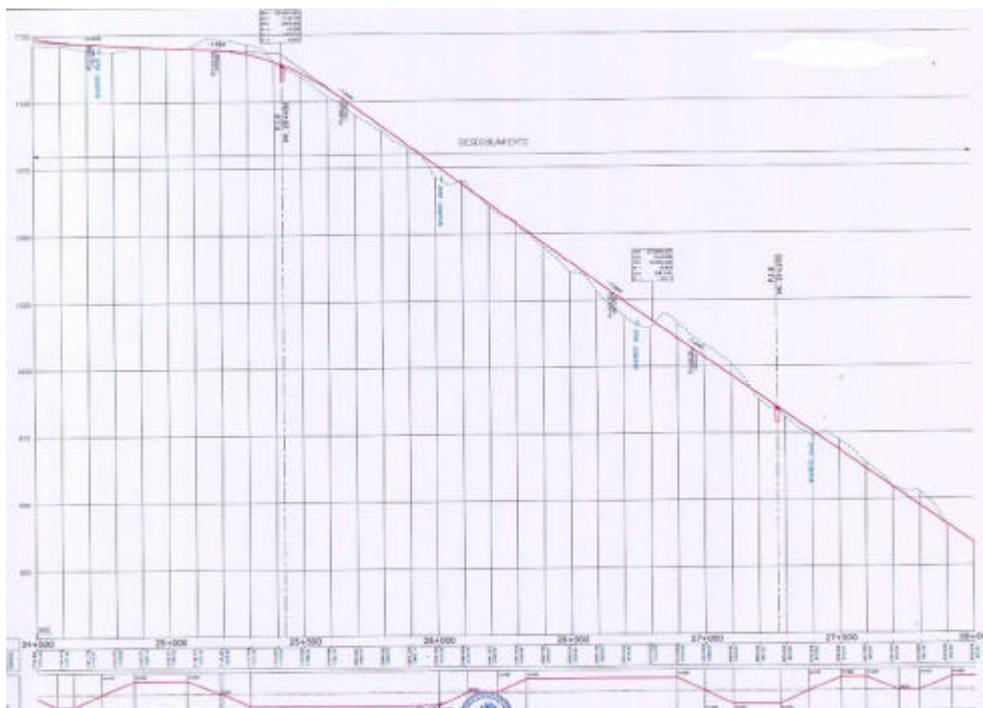


Figura 11

En calzadas paralelas los cambios de anchura de la mediana es mejor realizarlos en curva, con una transición lo suficientemente larga que evite pérdidas de orientación.

4. CASOS PARTICULARES DE ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE PROYECTO EN EL IMPACTO AMBIENTAL

Recientemente en la Dirección General de Carreteras se ha estudiado la influencia de la velocidad de proyecto en algunos parámetros ambientales de autovías en planeamiento. Así, en la Autovía Sevilla-Rosal de la Frontera las alternativas de trazado con 100 Km/h. de velocidad

de proyecto (radio mínimo 750 m) frente a las de velocidad de proyecto 120 Km/h en el tramo más accidentado permiten:

- Reducir un viaducto de 550 m a 300 m y alejarlo de población
- Evitar dos túneles de 700 m y 300 m
- Reducir desmontes máximos de 37 m a 21 m
- Reducir terraplenes máximos de 32 m a 21 m

lo que permite disminuir la inversión y los impactos paisajísticos y de ruido (Figuras 12 a 15)

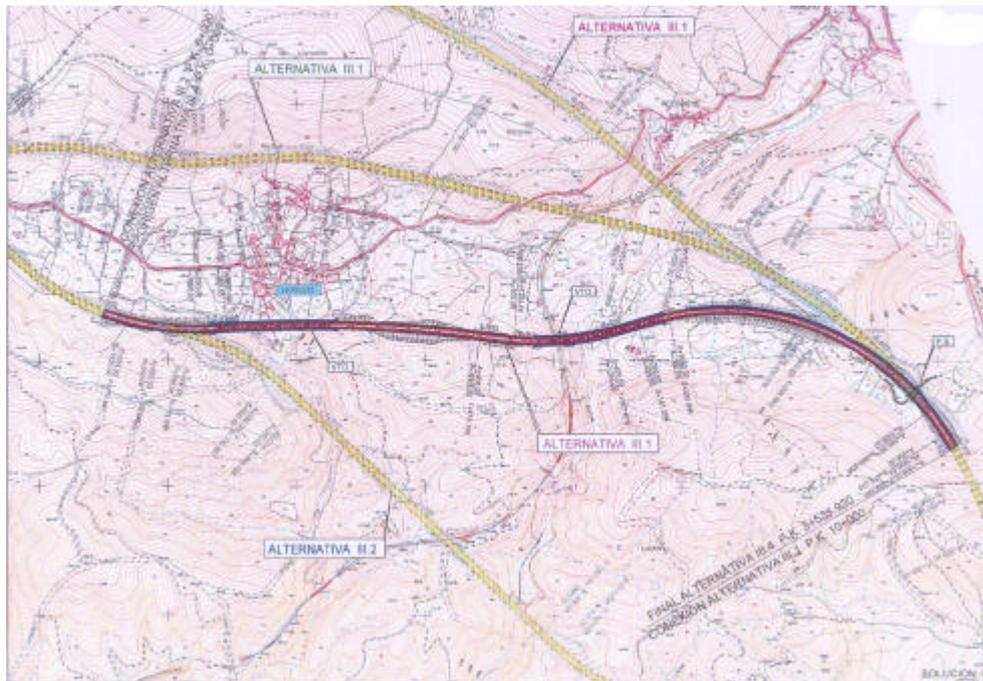


Figura 12



Figura 13

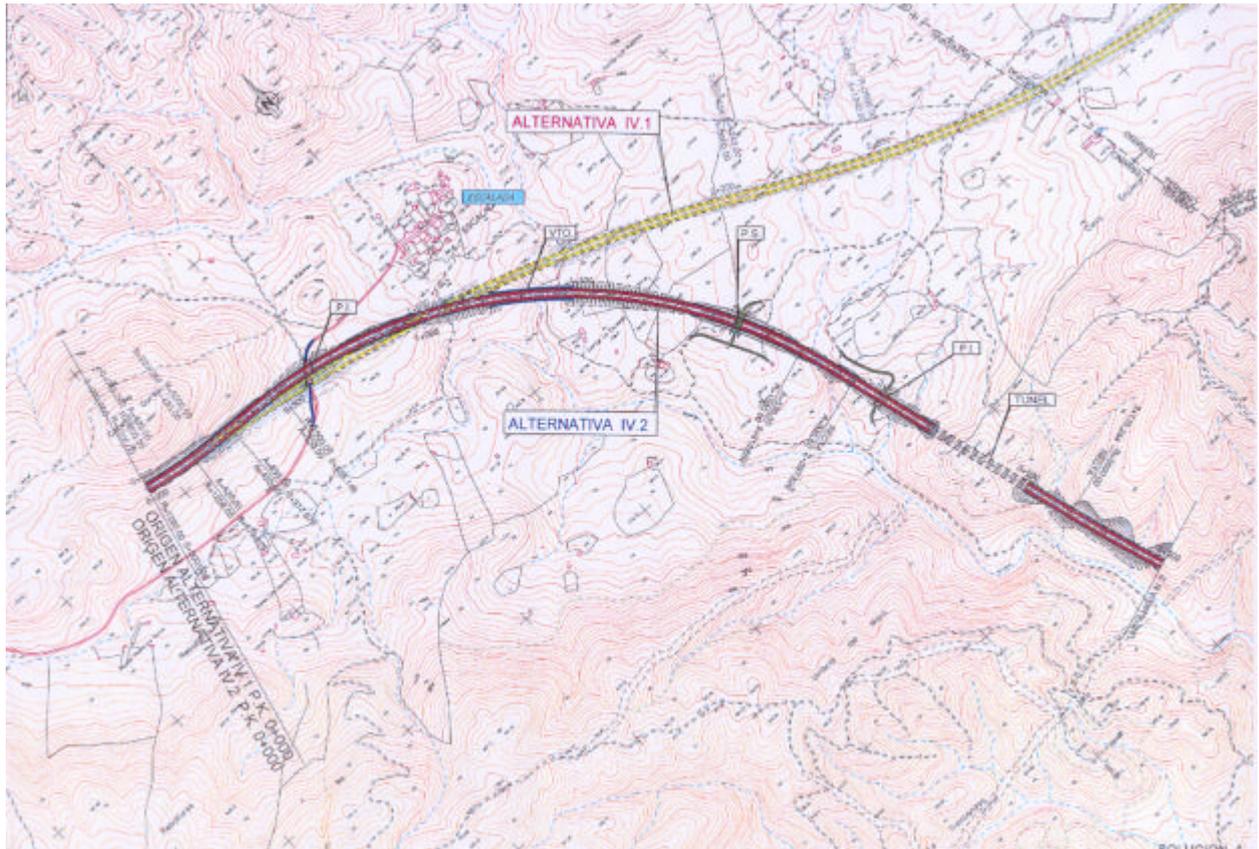


Figura 14



Figura 15

Pero, como siempre, no puede considerarse que la reducción de velocidad de proyecto sea una receta válida para todos los casos. Así, en la autopista de acceso a Málaga (Las Pedrizas-Málaga) la reducción de radios hasta 700 m no consigue una menor adaptación al terreno al existir gran número de cauces y vaguadas estrechos y sensiblemente perpendiculares a la orientación de la autopista (Figura 16). En estos casos, la medida más eficaz para reducir costes e impactos es

incrementar la inclinación máxima permitida, aunque puede ocurrir que se incrementen los desmontes y terraplenes a alturas que el Órgano Ambiental no considere permisibles.

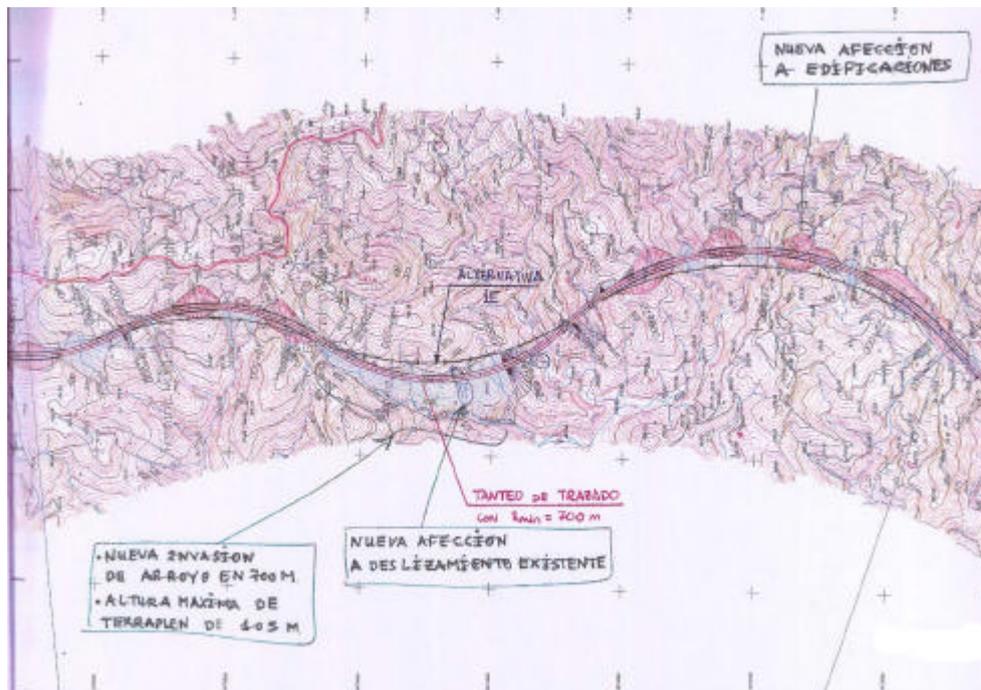


Figura 16

En el caso citado de la Autopista de Málaga el permitir pendientes máximas del 6 por 100, en lugar del 5 por 100 de la Norma, reduce los túneles y viaductos necesarios pero a costa de incrementar los desmontes por encima de 40 m, lo que no permitió la Declaración de Impacto Ambiental que únicamente aceptó la viabilidad ambiental de la alternativa con una pendiente del 5 por 100, aunque podría aumentarse hasta el 6 por 100 siempre que no se produjeran desmontes de más de 30 m.

Otro de los temas en discusión es el número de pilas de los viaductos y sus métodos constructivos. Así, las Declaraciones de Impacto Ambiental suelen exigir unas luces mínimas y unos procedimientos constructivos que permitan incidir el mínimo posible sobre el cauce; el problema es los costes que esas condiciones introducen. En la figura 17 pueden observarse los diseños propuestos por la Dirección General de Calidad y Evaluación de Impacto (Viaducto 12.1).

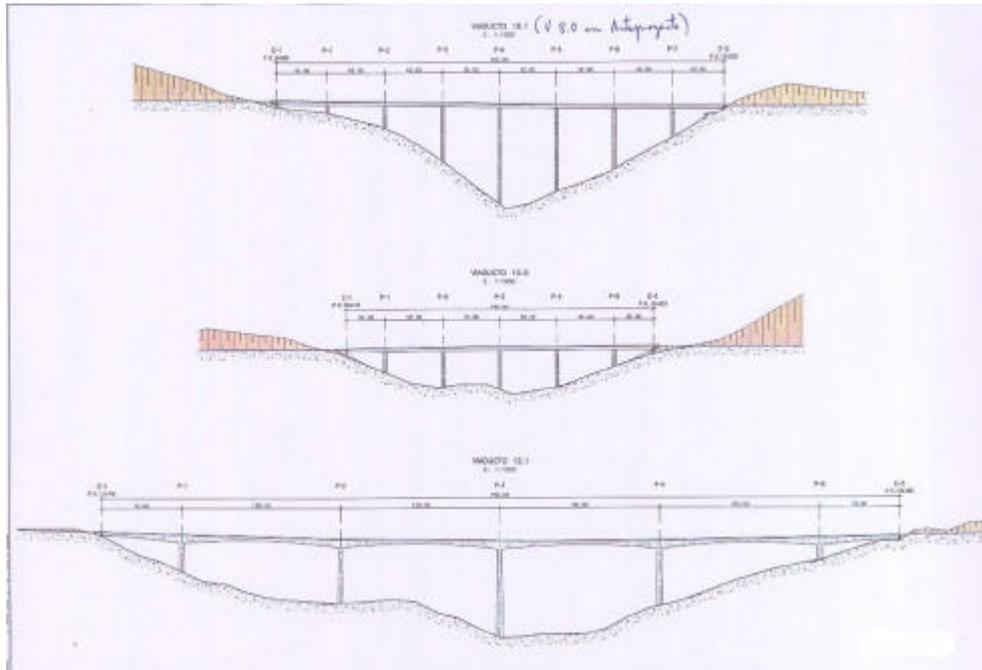


Figura 17

Una solución intermedia podría ser la de la Figura 18 en donde el vano central supera los 100 m de luz para evitar apoyos en el cauce, mientras los vanos laterales se reducen para evitar incrementar los costes, siempre cuidando de restaurar las laderas después de la construcción de los pilares y la colocación de las vigas.

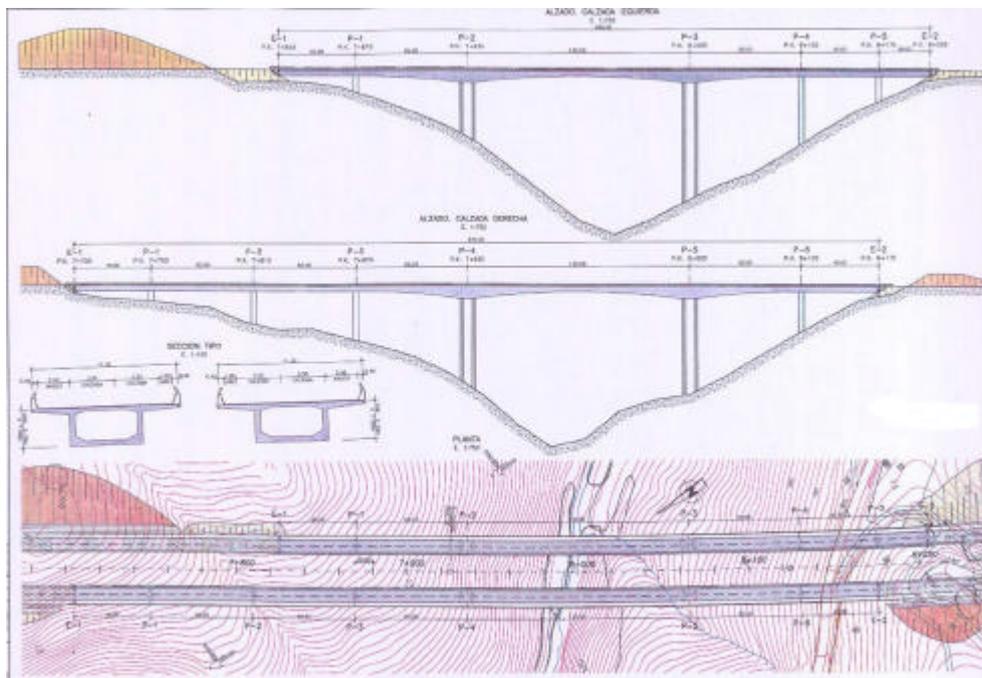


Figura 18

En **Conclusión** el impacto potencial de la construcción de nuevas carreteras, sobre todo vías de gran capacidad, es muy elevado (Figura 19) por lo que debe llegarse a un equilibrio entre coste, seguridad e impacto ambiental (Figura 20), sobre todo sí se considera que los anteriores factores no tienen porqué ser siempre antagónicos, y que un buen ingeniero puede conseguir una carretera

segura, integrada en su entorno y con costes reducidos, pues en muchos casos solo es cuestión de sensibilidad (Figura 21).



AUTOVIA DEL NOROESTE N-VI
TRAMO: AMBASMESTAS- CASTRO/LAMAS
Clase: 12-LE-3170
TECNICAS FOTOGRAFICAS
VUELO: 10/4/01
REF: 142706

Figura 19

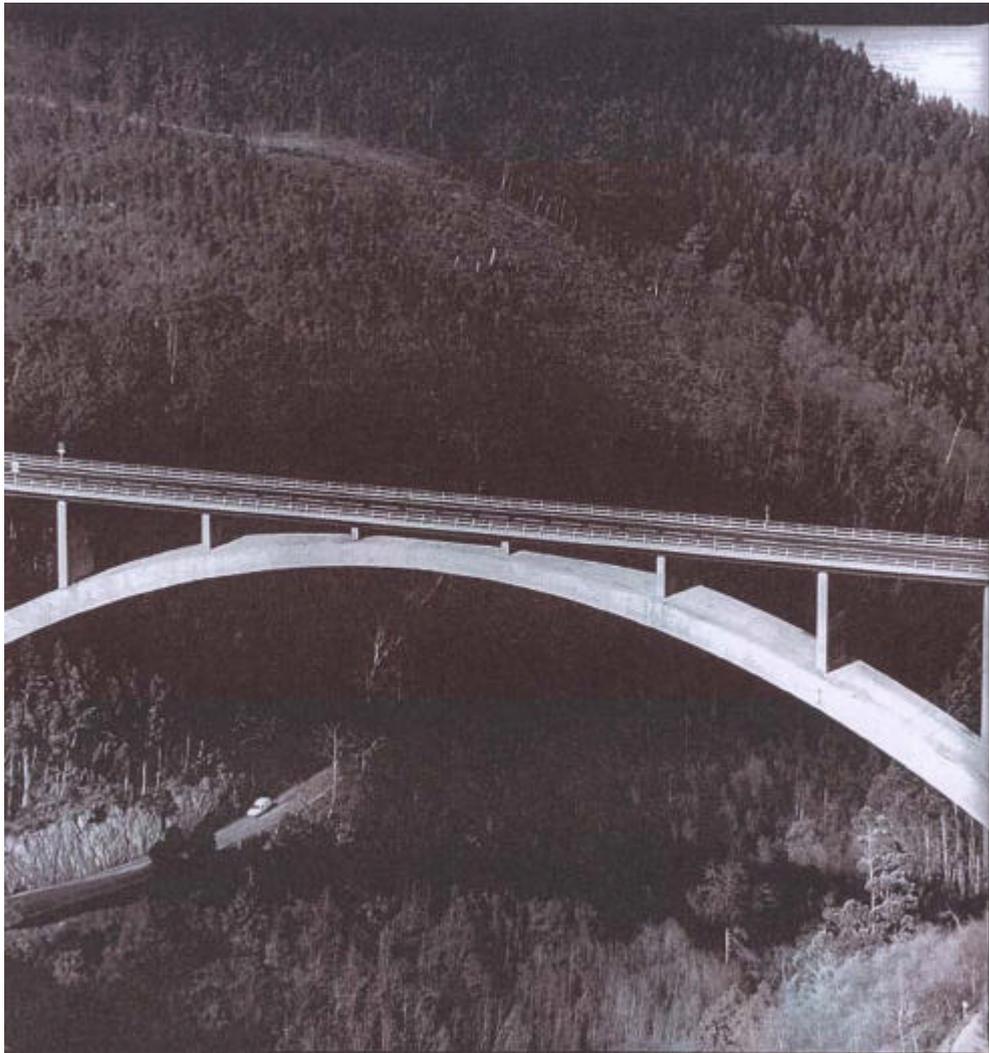


Figura 20

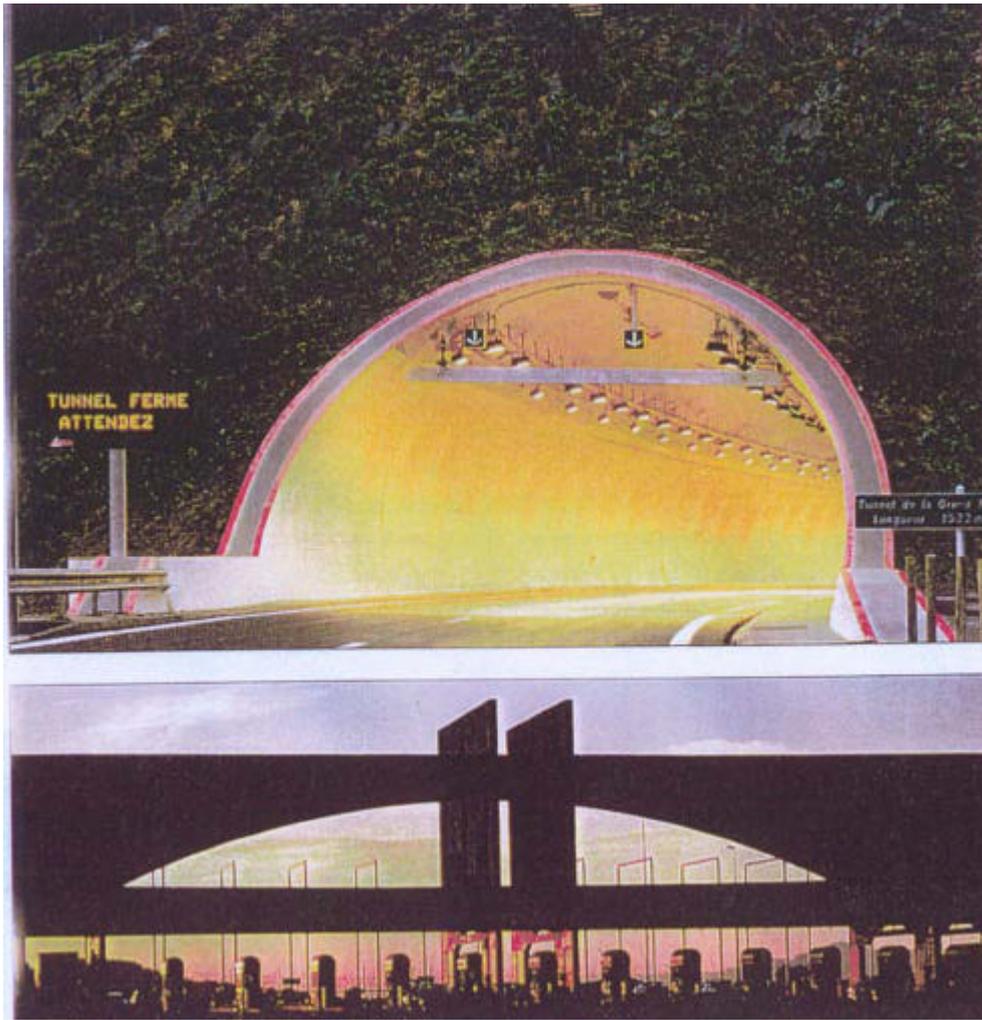


Figura 21