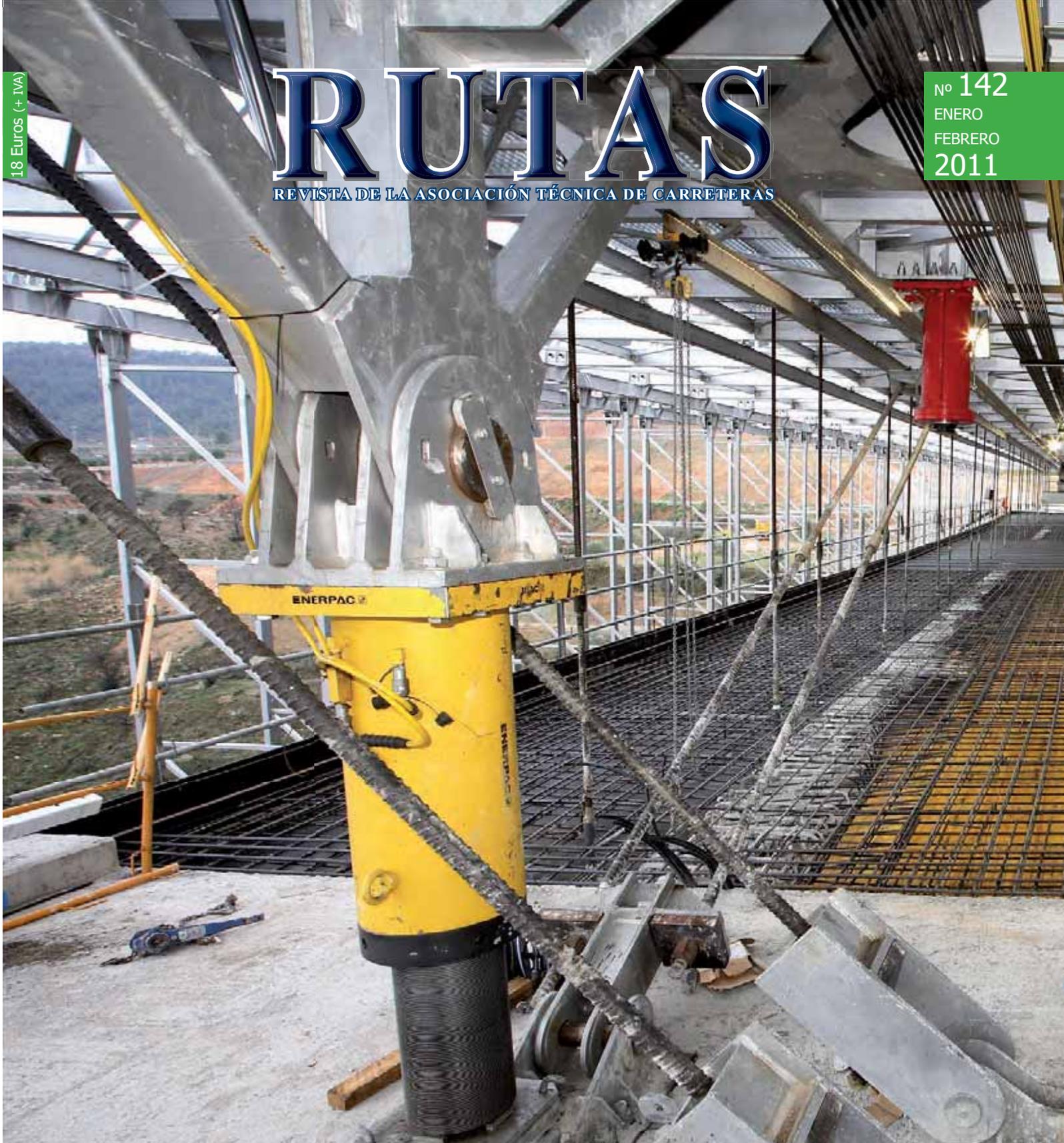


RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Nº 142
ENERO
FEBRERO
2011



EN PORTADA

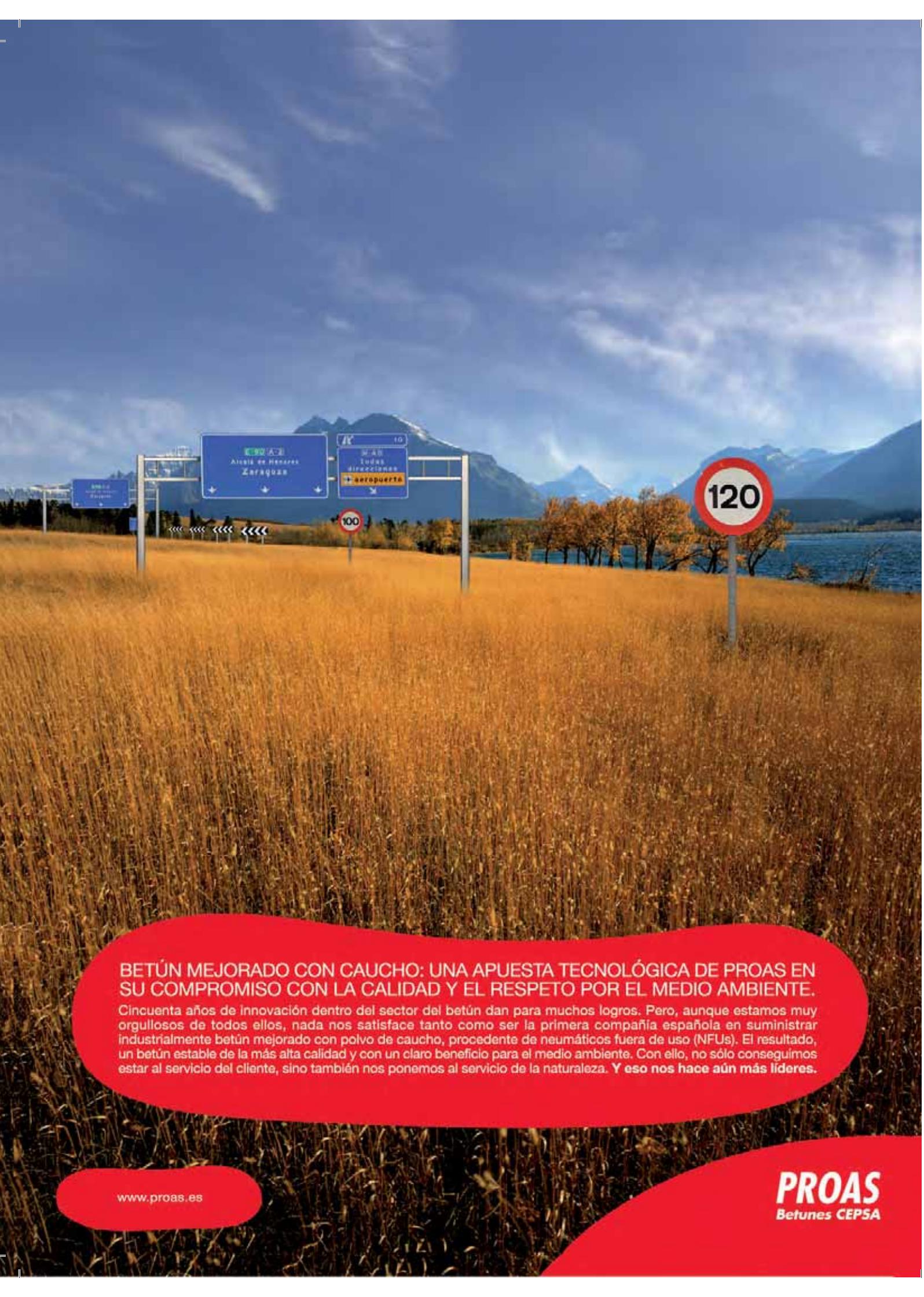
RUTAS TÉCNICA

SIMPOSIOS Y CONGRESOS

Entrevista a
D. Mario Flores Lanuza
*Conseller de Infraestructuras
y Transporte de la Comunitat
Valenciana*

La velocidad, base del trazado II
Medición de los niveles de
seguridad e inseguridad
ICSM: Un procedimiento de
clasificación de las condiciones de
seguridad de las márgenes de las
carreteras

Jornada Técnica
Experiencias recientes en
estructuras de tierra para
infraestructuras viarias



BETÚN MEJORADO CON CAUCHO: UNA APUESTA TECNOLÓGICA DE PROAS EN SU COMPROMISO CON LA CALIDAD Y EL RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE.

Cincuenta años de innovación dentro del sector del betún dan para muchos logros. Pero, aunque estamos muy orgullosos de todos ellos, nada nos satisface tanto como ser la primera compañía española en suministrar industrialmente betún mejorado con polvo de caucho, procedente de neumáticos fuera de uso (NFUs). El resultado, un betún estable de la más alta calidad y con un claro beneficio para el medio ambiente. Con ello, no sólo conseguimos estar al servicio del cliente, sino también nos ponemos al servicio de la naturaleza. **Y eso nos hace aún más líderes.**

www.proas.es

PROAS
Betunes **CEPSA**



Nº 142 ENERO-FEBRERO 2011

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Edita:
ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS
Monte Esquinza, 24 4º Dcha. ♦ 28010 ♦ Madrid
Tel.: 913 082 318 ♦ Fax: 913 082 319
info@atc-piarc.com - www.atc-piarc.com

Presidente:
Roberto Alberola

Comité de Redacción:
Presidente:
Roberto Alberola

Vocales:
José Alba
Francisco Caffarena
Alfredo García
Federico Fernández
José María Izard
Carlos Jofré
Sandro Rocci
Manuel Romana
Antonio Ruiloba
Margarita Torres
Carmen Velilla

Directora Técnica:
Belén Monercillo Delgado
Director Edición:
Antonio de J. Ulled

EDICIÓN. Redacción, Diseño, Producción,
Gestión Publicitaria y Distribución:

SIC n.i.m.u.p. SL
Apartado Postal nº 116 ♦ 28250 Torrelodones
Tel.: 918 591 112 ♦ Fax: 918 592 402
revistarutas@sicrd.es ♦ www.sicrd.es

Director:
Antonio de J. Ulled

Redacción:
Juan Vaquerín
redaccionrevistas@sicrd.es

Publicidad:
Juan Carlos Abad
Tel.: 685 690 541 ♦ rutas@sicrd.es

Administración:
Carmen Ulled

Maquetación:
Javier Viera

Producción:
Gráficas Ruiz Polo SA

Distribución:
Manchalán Gupost SA

Foto Portada:
Cortesía de PAVASAL. Estructura de entibado del
puente sobre el río Cabriel en la N-330.

Depósito Legal: M-35865-2011 - ISSN: 1130-7102
Todos los derechos reservados.

Notas: 1. Se admiten comentarios escritos a los artículos técnicos publicados en este número, hasta tres meses después de su fecha de salida. El Comité de Redacción se reserva el derecho de decidir la publicación o no de los que juzgue oportuno. No se mantendrá correspondencia alguna con los autores de los comentarios, a los que se agradece en todo caso su colaboración en la orientación de la Revista. 2. Las opiniones vertidas en las páginas de esta revista no coinciden necesariamente con las de la Asociación ni con las del Comité de Redacción de la revista.

Precio en España: 18 euros

© Asociación Técnica de Carreteras

En este número

Tribuna Abierta

- 03 **Las cuatro dimensiones de la seguridad vial**
Alfredo García García

En Portada

- 04 **Entrevista a D. Mario Flores Lanuza**
Conseller de Infraestructuras y Transporte de la Comunitat Valenciana

Rutas Técnica

- 08 **La velocidad, base del trazado (2ª parte)**
Sandro Rocci

- 16 **Medición de los niveles de seguridad e inseguridad**
Francisco Justo Sierra, María Graciela Berardo, Alejandra Débora Fissore y Luis Raúl Outes

- 30 **ICSM: Un procedimiento de clasificación de las condiciones de seguridad de los márgenes de las carreteras**
José Mª Pardiño Mayora, Rafael Jurado Piña y Carlos A. Domínguez Lira
Prólogo por Roberto Llamas Rubio

Infraestructuras Viarias

- 42 **Puesta en servicio de la Variante de Cofrentes**
Enrique Ballesteros Blaise-Ombrecht

- 46 **El Ministerio de Fomento pone en servicio el tramo Autovía A-357 del Guadalhorce-Conexión carretera C-3310**
José A. Domingo Atencia

- 50 **Abierto al tráfico el tramo Conexión de la carretera C-3310 - Autovía del Mediterráneo A-7**
Francisco Ruiz Hidalgo

- 54 **Un gran impulso viario para la conexión y vertebración en el Norte de Castellón**
Francisco Zamarbide García, Miguel Llorens Alcón

Empresa y Tecnología

- 60 **Grupo Ortiz**

Simposios y Congresos organizados por la ATC

- 66 **Jornada técnica sobre: Experiencias recientes en estructuras de tierra para infraestructuras viarias**

Notas de Lectura

- 71 **La mobilité des Français**
José Alba

Noticias

- 72 **Noticias y boletín de suscripción**

esinor

2010
2011

Sistemas de Ahorro Energético & Telegestión de **Alumbrado Exterior**

computer
craft

En iluminación
un **60%**
de ahorro
energético
es mucho



Gestión y ahorro de energía

918 593 877 - www.actioaedilitas.es - info@actioaedilitas.es

actio
aedilitas

Instalación de Alumbrado de Infraestructuras Ferroviarias Aeroportuarias y Puertos



1. Cuadro de mando CT200 de 40 cuadros de protección y control de la iluminación, que incorpora los protocolos de gestión de consumos eléctricos.



2. Cuadro de mando T20 gestiona el funcionamiento de la instalación.



3. Software (actio) es la solución de comunicación para la configuración y gestión de las instalaciones.



4. Baterías electrónicas RT20/RT30 para VSAF y VAF, incorporan un sistema regulador y controlador del nivel de batería.



5. Lámparas de bajo consumo de última generación.

Línea de Energía Eléctrica (en rojo en campo)



Las cuatro dimensiones de la seguridad vial

Alfredo García García
Catedrático de Ingeniería de Carreteras
Universidad Politécnica de Valencia

El logro de los últimos años frente a la siniestralidad viaria en España se limita a la disminución de la gravedad de los accidentes, los fallecimientos; pero el volumen global del problema de la siniestralidad sigue latente. En la última década se siguen produciendo anualmente casi los mismos accidentes con víctimas y sus heridos, lo que debe llevar a replantear e intensificar las medidas y actuaciones, ampliando decididamente el campo de acción a la infraestructura y al sistema de gestión de la misma. Se ha de lograr un sistema viario donde los accidentes sean improbables y sus consecuencias menores. En caso contrario, incluso la tendencia de la mortalidad puede revertirse con facilidad.

Dentro de la seguridad vial podemos distinguir cuatro dimensiones de la misma, según sea la referencia que se adopte para basarla, estimarla o medirla: la seguridad nominal, la seguridad legal, la seguridad sustantiva y la seguridad real.

La *seguridad nominal* viene dada por los criterios y preceptos recogidos en las guías y normativas de diseño, donde aparecen determinados parámetros que se interpretan erróneamente como umbrales de la seguridad. Los valores establecidos en las normas no son la frontera entre lo seguro y lo inseguro; simplemente recogen lo que unos profesionales consideraban una práctica aceptable en ese momento, muchas veces condicionada por otros objetivos del diseño de las carreteras, como la economía, la integración ambiental, etc. Por tanto, cumplir con la seguridad nominal no es garantía de que el diseño sea seguro.

Además, dentro de la seguridad nominal seguimos cobijando una mal entendida y utilizada *seguridad legal*, que deja en el ámbito exclusivo del conductor la responsabilidad de la siniestralidad debida a una infraestructura con limitaciones. El cumplimiento de determinados preceptos legales no tiene por qué garantizar ningún nivel concreto de seguridad vial, ya que muchos de ellos están establecidos para limitar las repercusiones económicas o para responsabilizar exclusivamente a los conductores de los accidentes en que se vean involucrados, aunque la infraestructura presente limitaciones asociadas con un riesgo no perceptible o insuperable por los mismos.

Un ejemplo del primer caso es el establecimiento de las distancias de visibilidad necesarias en función de la velocidad de proyecto, cuando en la mayor parte del trazado se desarrollan velocidades superiores a ella, aunque no superen las máximas permitidas. La culpabilización de los conductores queda plasmada, por ejemplo, en el artículo 26 de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, con una redacción que refleja incluso la necesidad de apelar a la ayuda de un tercero ante el desamparo humano de tener que asumir un riesgo impuesto inabordable al incorporarse a la circulación o acceder a otra vía aunque no exista visibilidad suficiente. Por el contrario, estos pre-

ceptos realmente amparan a los responsables viarios, fomentando la desidia y la ineficacia.

La *seguridad sustantiva* permite llevar a cabo una estimación de los resultados que un determinado diseño viario o actuación de mejora viaria puede tener en la siniestralidad futura. Para ello se precisan métodos que permitan pronosticar o predecir la frecuencia futura de los accidentes y sus consecuencias, según las condiciones o parámetros incorporados al diseño.

Se hace necesario basarse en hechos y no en conjeturas, fundamentarse en conocimientos obtenidos de la investigación y no en juicios, por muy experimentados que seamos. Hasta ahora las investigaciones realizadas terminaban, en el mejor de los casos, actualizando las normas y criterios de diseño, es decir, fomentando la seguridad nominal. Pero en los últimos años se han desarrollado métodos y herramientas que permiten aglutinar y poner en valor práctico todo ese conocimiento que se alcanza, de tal forma que cualquier ingeniero pueda verificar sus diseños desde la dimensión de una seguridad sustantiva, es decir, cuantificable, contrastable y comparable.

El nuevo Manual de Seguridad Vial de la AASHTO de Estados Unidos no es sólo una recopilación de conocimientos, experiencias y buenas prácticas para analizar la problemática de la siniestralidad y actuar mejorando la seguridad vial; ése era el contenido habitual de los manuales de seguridad vial existentes hasta ahora. Ahora, en cambio, se facilitan herramientas prácticas para tener en cuenta la seguridad vial de forma objetiva en el proceso de planeamiento y proyecto de una carretera. También se dispone de dos herramientas que permiten aplicar todos estos métodos de forma eficiente a través de sendas aplicaciones informáticas: IHSDM y Safety-Analyst.

Finalmente, la *seguridad real* viene determinada por la siniestralidad que se produce en una red viaria en explotación. Tras el fracaso que siempre hay detrás de cualquier accidente, especialmente de sus víctimas, su análisis debe alimentar la búsqueda de soluciones locales efectivas; pero su investigación conjunta y rigurosa mejora el conocimiento de seguridad, para propiciar una seguridad sustantiva más eficiente.

La aplicación de la seguridad sustantiva, fundamentada en la seguridad real, va a permitir trascender la seguridad nominal y abordar un dominio más amplio del diseño de carreteras, que incorpore los nuevos conceptos de flexibilidad y adaptación al entorno. Lo crucial es seleccionar medidas adecuadas, comparar alternativas, priorizar proyectos, pero cuantificando y previendo el comportamiento frente a la seguridad vial de los diferentes elementos de la carretera. ❖



Entrevista a

D. Mario Flores Lanuza, *Conseller* de Infraestructuras y Transporte de la *Comunitat Valenciana*

¿Cómo calificaría su experiencia como *conseller* desde su nombramiento y cuáles cree que son los objetivos que se han conseguido?

Ser *Conseller* es una experiencia muy gratificante y enriquecedora. Desde el punto de vista profesional, es un honor trabajar para todos los valencianos y estar al frente de una *conselleria* tan importante como es la de infraestructuras y transporte.

Respecto a los objetivos conseguidos, teniendo en cuenta los tiempos difíciles y de austeridad que estamos viviendo debido a la crisis económica, tengo que destacar el gran impulso que hemos dado en los últimos años al tema de la logística, creando

las bases para que la *Comunitat Valenciana* se convierta en un gran nodo logístico y en la puerta sur de Europa. Para ello, reclamamos al Gobierno central la necesidad de que el Corredor Mediterráneo sea una realidad lo antes posible, para poder situarnos en el lugar que no corresponde.

Además, desde la *Generalitat* se ha mantenido el esfuerzo inversor para desarrollar la red de transporte público en las tres áreas metropolitanas. Desde hace más de dos años, Castellón disfruta de la primera fase de un novedoso sistema de plataformas de vía reservada; la red de Metrovalencia ha conectado el puerto con el aeropuerto de la ciudad, y en Alicante hemos transformado radicalmente el viejo "trenet" *Alacant-Dénia* en un moderno TRAM metropolitano.

¿Cómo se estructura su *Conselleria*?

La *Conselleria* de Infraestructuras y Transporte está estructurada en cuatro direcciones generales: Obras Públicas, Energía, Transporte y Logística, y Puertos, Aeropuertos y Costas. Además, tiene adscritas dos empresas públicas, *Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana*, que gestiona el servicio de Metrovalencia y TRAM de Alicante, y el Ente Gestor de la Red de Transporte y de Puertos de la *Generalitat*, encargada de ejecutar obras tan importantes como las obras del metro.

También contamos con la importante labor de la Agencia Valenciana de la Energía, fundamental para impulsar el desarrollo de las energías renovables, y acabamos de

poner en marcha la Agencia Valenciana de la Movilidad Metropolitana en Alicante, Valencia y Castellón, encargada de coordinar el transporte metropolitano.

¿Cómo se clasifica y qué longitud tiene la red de carreteras de su competencia?

La longitud de la red de carreteras dependiente de la *Generalitat Valenciana* es de cerca de 3 000 km, de los que 320 corresponden a vías de alta capacidad. Hay que destacar que desde el año 2004, la *Generalitat* ha puesto en servicio más de 280 km tanto de nuevas carreteras, como de acondicionamiento y mejoras de las ya existentes. Además, en la actualidad tenemos en ejecución o adjudicados más de 100 km de nuevas carreteras, acondicionamientos o mejoras, la mayoría de los cuales con dos o más carriles por sentido de circulación.

¿Qué actuaciones recientes destacarías?

En los últimos años hemos ejecutado carreteras muy importantes para el desarrollo de la *Comunitat*. En la provincia de Castellón destacan los diferentes tramos que la *Generalitat* ha puesto en servicio de la CV-10, la autovía del interior que actualmente conecta Almenara con Vilanova d'Alcolea. Ahora sólo falta que Fomento cumpla su compromiso y construya esta autovía hasta el límite de la provincia de Tarragona. También en Castellón inauguramos hace unas semanas la CV-13, una carretera que sirve de acceso al nuevo aeropuerto y que une la N-340 y la CV-10, conectando la autovía del interior y el corredor costero formado por la A-7 y la N-340.

En la provincia de Valencia destaca la CV-35, que ha supuesto la ampliación a tres carriles hasta la Poble de Vallbona, la construcción de la autovía hasta Casinos y la primera calzada hasta Losa del Obispo. Esta infraestructura ha permitido mejorar la accesibilidad en las comarcas del interior de Los Serranos y el Rincón de Ademúz, consolidando el desarrollo económico y demográfico de una de las áreas de interior más importantes de la provincia.

Por lo que respecta a Alicante, la nueva avenida de Dénia ha mejorado sustancialmente la accesibilidad y la movilidad de la ciudad gracias a la conversión en vía urbana del acceso norte a Alicante en su tramo comprendido entre La Goteta y la A-70, en una longitud de más de 3,5 km.

Siguiendo este tema, ¿cuáles han sido los mayores logros del Plan de Infraestructuras Estratégicas de la Comunitat Valenciana 2004-2010?

El Plan de Infraestructuras Estratégicas de la *Comunitat Valenciana* 2004-2010 recogía actuaciones necesarias para nuestro territorio en materia de carreteras, transpor-

tes, energía, agua y telecomunicaciones, y su puesta en marcha ha sido un elemento fundamental para nuestro progreso en estos años.

Dentro de este plan se han hecho muchas cosas y se han hecho bien. Por ejemplo, hemos transportado más de 70 millones de pasajeros en un año en los servicios de Metrovalencia, TRAM de Alacant y TRAM de la Plana y seguimos ampliando líneas. Como hemos comentado, se ha actuado sobre más de 280 kilómetros de carreteras autonómicas. También hemos logrado que la *Comunitat* sea autosuficiente en generación eléctrica y en gas, y que el 36,5% de la potencia instalada sea de origen renovable. El 97% de los valencianos residen en municipios con cobertura de banda ancha. Estos son sólo algunos de nuestros logros.



La conversión en autovía de la CV-35 es otro de los esfuerzos realizados por la Comunidad Valenciana en aras de una mayor comunicación, movilidad y seguridad vial.



La autovía interior CV-10 conecta actualmente Almenara con Vilanova d'Alcolea.

¿Con qué presupuesto cuenta para 2011? ¿De qué forma le ha afectado la actual situación de ajuste presupuestario?

La *Conselleria* de Infraestructuras y Transporte y sus organismos y entes públicos adscritos disponen para 2011 de un presupuesto consolidado de 631 millones de euros. A esta inversión se añade la prevista en el Plan Confianza, que permitirá movilizar 260 millones de euros en proyectos que se encuentran en ejecución, adjudicados, licitados o en contratación.

Tengo que señalar que la reducción del presupuesto de la *Conselleria* se debe principalmente a tres causas. Por un lado, la *Generalitat* recibe del Estado mucha menos financiación de la que debería conforme a su población. Por otro lado, la crisis ha reducido los ingresos tributarios de la *Generalitat* y el *Consell* ha decidido priorizar los gastos sociales.

Sin duda, el nuevo Plan de Infraestructuras Estratégicas 2010-2020 definirá la estrategia y programación de las infraestructuras viarias de la Comunidad a medio plazo. ¿Cuáles son sus principales objetivos?

El Plan de Infraestructuras Estratégicas de la Comunidad Valenciana 2010-2020 (PIE) se enmarca en la Estrategia Territorial del *Consell*, y recoge tanto el análisis de la situación actual como una proyección ambiciosa de la *Comunitat* que queremos en el año 2020. Esto se traduce en un amplio conjunto de prioridades y líneas de actuación.

Su objetivo es que la *Comunitat* esté entre las regiones más avanzadas de Europa, en calidad de vida, productividad, empleo, creación de riqueza y preservación del medio.



La nueva avenida de Dénia ha mejorado sustancialmente la accesibilidad y la movilidad de la ciudad, gracias a la conversión en vía urbana del acceso norte a Alicante, en su tramo comprendido entre La Goteta y la A-70, en una longitud de más de 3,5 km.

¿Qué inversión supone y cómo está prevista su financiación?

El PIE debe contribuir a movilizar la inversión privada en aquellos sectores cuya regulación y características así lo contemplan. Así, el plan supondrá una inversión global de más de 50 000 millones de euros hasta 2020. Una inversión realizada por parte de la *Generalitat*, y que contará con la colaboración de la empresa privada, así como del Estado y otras Administraciones.

Ahora que nos habla de la importancia de la financiación privada, esta Consejería parece que confía mucho en ella. ¿La experiencia adquirida hasta la fecha ha sido positiva? ¿Nos puede citar algunos ejemplos de esta colaboración?

La experiencia ha sido muy positiva y gracias a ella los valencianos pueden disfrutar de la CV-35. Se trata de uno de los proyectos más emblemáticos de la *Generalitat* en materia de infraestructuras que, con una inversión de 450 millones, cuenta con las últimas tecnologías en materia de seguridad vial.

Además, la fórmula de colaboración público-privada ha hecho posible anticipar



Para nuestro entrevistado, dentro del Plan de Infraestructuras Estratégicas de la *Comunitat Valenciana* 2004-2010, se han hecho muchas cosas y se han hecho bien.

esta infraestructura y que los ciudadanos ya la puedan utilizar, ya que, por su elevado coste, no hubiera sido posible llevarla a cabo en el plazo establecido.

Por todo ello, esta fórmula de financiación se aplicará a parte de la gestión ferroviaria, como las Líneas 2 de Metrovalencia y TRAM de Alicante. Esta fórmula de financiación es una práctica habitual en Europa, y el Ministerio de Fomento también anunció que recurrirá a este tipo de financiación en infraestructuras como el AVE.

Continuando con este nuevo plan estratégico, ¿cómo se desglosa el conjunto de sus actuaciones (reequilibrio territorial, mejora de la accesibilidad...)?

En materia de carreteras, el PIE contempla 14 ejes autonómicos principales conformados por autovías, autopistas y vías de alta capacidad, así como una red viaria más funcional y con mayor seguridad. La inversión prevista en carreteras es de 12 520 millones de euros.

Entre las prioridades destacan la mejora de las conexiones internas de la *Comunitat*, la relación interior-litoral y la accesibilidad a las áreas urbanas y metropolitanas planteadas ya en el anterior PIE. También

se centrará en los corredores estatales que garanticen la conexión íntegra de la *Comunitat* de norte a sur y de este a oeste, tanto por el interior como por la costa, a través de vías de alta capacidad gratuitas.

Del mismo modo, nuestro objetivo es que las poblaciones de más de 1 000 habitantes estén conectadas a menos de 20 minutos de una vía de alta capacidad y que las de más de 10 000 habitantes cuenten con conexión por vías de alta capacidad.

El transporte es otra de sus competencias. ¿Cuáles han sido sus logros más importantes? ¿Cuáles son los retos que se han planteado?

El pasado año, el Metrovalencia y el TRAM trasladaron un total de 73 millones de pasajeros, y desde 2004 hemos actuado sobre 130 km de vías.

La previsión es que en 2020 se produzcan más de 2 500 millones de desplazamientos al año y la Administración debe responder a ese reto. Por ello, los sistemas metropolitanos, que han sido objeto de un importante desarrollo en los últimos años, se van a potenciar con actuaciones como el Metro Ligero de l'Horta Sud en Metrovalencia, la llegada del tranvía a Elx o la línea 2 del TRAM de la Plana.

Ante todo queremos alcanzar un patrón de movilidad más equilibrado en las áreas metropolitanas y lograr que el 40% de los desplazamientos sean atendidos por transporte público en días laborables. En este sentido, juega un papel fundamental el proyecto de Ley de la Movilidad, que recientemente aprobó el *Consell*, y que recoge la normativa referente a los distintos modos de transporte para favorecer el uso de los sistemas públicos y de los desplazamientos peatonal y ciclista frente al coche particular.

Además, tras la llegada del AVE a Valencia, consideramos fundamental la alta velocidad para Alicante y Castellón. Y si la alta velocidad es clave para el transporte de personas por la península, el Corredor Mediterráneo lo será para la conexión de las mercancías con el resto de Europa.

¿Qué otras actuaciones (en otros sectores) destacaría brevemente?

En esta legislatura elaboramos y aprobamos por unanimidad la Ley de Accesibilidad al Sistema de Transporte de la Comunidad, cuyo objetivo es garantizar las condiciones necesarias para hacer accesible a todos los ciudadanos el sistema de transportes motorizado y no motorizado.

En el tema de aeropuertos, hemos dado un gran impulso con el Plan de Instalaciones Aeronáuticas de la *Comunitat* (*Aeropat*), que planifica todas las instalaciones aeroportuarias futuras y coordinada en sus distintas funciones. Entre ellas se incluye la red conjunta de aeródromos y helipuertos de extinción de incendios, así como la red de instalaciones aeroportuarias sanitarias.

En materia de puertos, se está acometiendo una importante modernización de las instalaciones dependientes de la *Generalitat* y la ordenación de los mismos. Además, también hemos solicitado al Ministerio los comités de rutas de los aeropuertos, para poder participar en la toma de decisiones que permitan mejorar las prestaciones y necesidades comerciales de los mismos.

Finalmente, tan sólo nos resta agradecer a D. Mario Flores Lanuza la atención dispensada a nuestra revista.



La velocidad, base del trazado

(2ª parte)

2. Relación del trazado con la velocidad

2.1. Introducción

Los indicadores escogidos para relacionar el trazado con la velocidad operativa en una vía deben cumplir las condiciones siguientes:

- Han de ser estrictamente función del trazado de la vía.
- Tiene que haber una relación razonable entre el indicador y la velocidad operativa.

En Alemania se emplea la **tasa de cambio de curvatura** (*Curvature Change Rate, CCR*), o el ángulo de giro medio por unidad de longitud. Este concepto coincide con el de sinuosidad. Se obtiene sumando el valor absoluto de todos los ángulos de giro¹ de un tramo, y dividiendo esa suma por la longitud del tramo. Este indicador ha sido muy empleado por Lamm para sus criterios de consistencia: sus modelos de velocidad operativa se basan en este índice.

A lo largo de un itinerario, si se traza un diagrama de la **CCR** acumulada a lo largo de la distancia recorrida, es fácil distinguir en aquél tramos homogéneos (*figura 2.1-A de la página siguiente*).

a) Warren (I) consideró que las caracterís-

ticas más influyentes eran la curvatura en planta, la inclinación de la rasante y su longitud, el número de carriles, el estado del pavimento, la visibilidad disponible, el despeje lateral, el número de intersecciones y la presencia de edificaciones contiguas.

- b) Según Polus y otros (II), la curvatura media del tramo presenta una correlación negativa con la velocidad operativa media.
- c) McLean (III) llegó a la conclusión de que no sólo el radio de la curva, sino también la velocidad deseada eran las variables estadísticamente más significativas.
- d) Tignor y Warren (IV) destacaron que las características más influyentes eran el número de accesos y el desarrollo comercial contiguo.
- e) Por el contrario, Fildes y otros (V) opinan que las que más influyen son la anchura de la calzada y el número de carriles.
- f) Fitzpatrick y otros (VI) no sólo emplearon indicadores del trazado para determinar la velocidad operativa, sino que también emplearon otras cinco variables: inclinación de la rasante, anchura de la plataforma, peligrosidad de las

márgenes², densidad de accesos, y límite de velocidad.

El primer paso fue determinar qué índices se podían emplear para describir el comportamiento de la vía. Sólo se tomaron en cuenta rectas independientes de las secciones críticas adyacentes. Para ello, se determinó la longitud crítica frontera entre rectas dependientes e independientes. Con los resultados obtenidos, se realizaron dos análisis: uno gráfico y otro estadístico.

Las relaciones cualitativas establecidas a partir del análisis gráfico fueron las siguientes:

- A medida que la tasa de cambio de curvatura (**CCR**) aumentaba, la velocidad operativa disminuía.
- A medida que el radio decrecía, también lo hacía la velocidad operativa.
- Un incremento del radio medio provocaba un incremento de las velocidades operativas.
- El aumento de la longitud media de las

(1) Incluyendo los correspondientes a las curvas de transición.

(2) Medida por la escala cualitativa definida en: Zegeer, Charles V., J. Hummer, D. Reinfurt, L. Herf & W. Hunter. *Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads. Report FHWA-RD-87/08 y /09*, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC (1987).

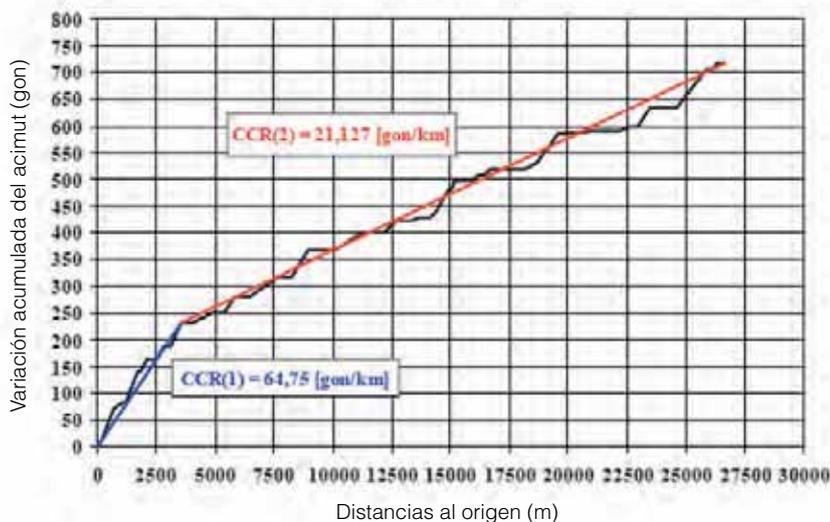


Figura 2.1.A. Cómo se diferencian tramos de trazado en planta homogéneo. Fuente: Crisman, Bruno; Marchionna, Aurelio; Perco, Paolo; Roberti, Roberto: *Operating Speed Prediction Model For Two-Lane Rural Roads*. Departamento di Ingegneria Civile - Università di Trieste 2005.

rectas provocaba un aumento de la velocidad operativa.

- A medida que la tasa de cambio de curvatura vertical aumentaba, la velocidad operativa disminuía.
- Un aumento de la tasa de cambio de curvatura combinada provocaba una disminución de la velocidad operativa.

Todas estas conclusiones eran intuitivas aun antes de un análisis cuantitativo. Sin embargo, realizado éste, ninguno de los indicadores del trazado estudiados resultó ser estadísticamente significativo, ni siquiera considerando las variables auxiliares.

2.2. Consistencia

2.2.1. Definición

La consistencia del diseño es la condición bajo la cual el trazado de la vía está en armonía con las expectativas de los conductores, los cuales pueden prever sus acciones con seguridad e incluso con comodidad. Estas expectativas no sólo son fruto de la experiencia previa del propio conductor, sino también como consecuencia del tramo de vía que lleve recorrido. Se trata de que no aparezcan situaciones imprevistas, y

además difíciles de resolver, que requieran de los conductores percepciones muy rápidas y de múltiples elementos a la vez.

Ya en el apartado 1.1 de la Norma 3.1-IC se dice que:

“... deberá lograrse una homogeneidad de características geométricas tal que induzca al conductor a circular sin excesivas fluctuaciones de velocidad, en condiciones de seguridad y comodidad. Para ello se evitarán los puntos en que las características geométricas obliguen a disminuir bruscamente la velocidad y se facilitará la apreciación de las variaciones necesarias de velocidad mediante cambios progresivos de los parámetros geométricos y con la ayuda de la señalización...”

En el apartado 4.5 de la misma Norma figuran unas condiciones sobre la relación entre los radios de curvas consecutivas³ y sobre el radio mínimo de una curva siguiente a una alineación recta de más de 400 m de longitud que, de hecho, constituyen unas condiciones de consistencia adaptadas de las normas alemanas RAS-L. Estas condiciones representan una muy buena aportación de la Norma de 1999 y deben ser mantenidas, pues resuelven el problema de cómo llegar hasta elementos de baja velocidad específica.

2.2.2. Criterios experimentales

Diversos estudios (VII) (VIII) (IX) (X) han analizado la relación entre la siniestralidad y la consistencia. Por ejemplo, las curvas que requieren una reducción de velocidad de más de 20 km/h presentan una siniestralidad seis veces superior a las que no requieren reducir la velocidad.

Aunque la consistencia del trazado comenzó a estudiarse en la década de 1970, la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo a partir de los años 90. Han consistido en el desarrollo de diferentes métodos basados en la velocidad de los vehículos, en su estabilidad, en el trazado de la carretera, o en el comportamiento del conductor. Los métodos basados en el análisis de las velocidades han sido los más desarrollados hasta la fecha, y han sido em-

(3) O separadas por una recta de menos de 400 m de longitud.



Foto: Banco de imágenes del Instituto de Tecnologías Educativas. Ministerio de Educación.

pleados en países como Estados Unidos, Suiza y Alemania.

Los métodos de evaluación de la consistencia de la velocidad se fundamentan en determinar la velocidad a la que un vehículo tipo puede circular a lo largo del tramo en estudio, teniendo en cuenta su trazado y comparando con ciertos criterios. Para ello, en primer lugar estiman el perfil de velocidad correspondiente al percentil 85 (V_{85}), a partir de modelos matemáticos que relacionan la velocidad con algunas características geométricas de la carretera.

Leisch y Leisch (III) desarrollaron un procedimiento para evaluar la consistencia del trazado basándose en la determinación de la velocidad operativa, distinguiendo entre vehículos pesados y ligeros, y teniendo en cuenta la aceleración y la deceleración debidas a la presencia de curvas en planta. Para calificar la consistencia propusieron comparar el perfil de velocidades con la velocidad de diseño, y aplicar la “regla de las 10 millas”:

- La velocidad media de los vehículos ligeros no debe diferir en más de 16 km/h de la velocidad de diseño.
- La reducción en la velocidad de diseño entre dos tramos consecutivos no debe superar unos 16 km/h.
- La velocidad media de los vehículos pesados no debe ser inferior en más de 16 km/h a la de los vehículos ligeros.

Lamm y Choueiri (XIV) y Lamm y otros (XI) establecieron un procedimiento de evaluación de la consistencia, que consiste en comparar la variación del grado de curvatura (GC)⁴ y de la V_{85} entre elementos consecutivos. La consistencia se califica por los siguientes criterios:

- Si $\Delta GC \leq 5^\circ$ y $\Delta V_{85} \leq 10$ km/h la consistencia del trazado es buena.
- Si $\Delta GC > 10^\circ$ y $\Delta V_{85} > 20$ km/h la consistencia del trazado es mala.

Basándose en la siniestralidad media, Lamm y otros (XIV) sugirieron otro criterio para evaluar la consistencia del trazado entre elementos consecutivos (tabla 2.2-A).

Tabla 2.2-A.

Diseño	ΔV_{85} (km/h)
Bueno	≤ 10
Regular	entre 10 y 20
Malo	> 20

Polus y Mattar-Habib (XII) han propuesto otro criterio de medida de la consistencia, también basado en la velocidad:

- El primer parámetro (R_a) es el área normalizada (por unidad de longitud) comprendida entre el perfil de velocidades y la velocidad media⁵.
- El segundo parámetro (σ) es la desviación estándar de la velocidad operativa (V_{85}) a lo largo de la carretera.

El modelo de consistencia (C) que proponen es

$$C = 2,808 \cdot e^{0,278 \cdot R_a \cdot \frac{\sigma}{3,6}}$$

Los intervalos propuestos figuran en la tabla 2.2-B.

Tabla 2.2-B.

Diseño	C
Bueno	> 2
Regular	entre 1 y 2
Malo	< 1

2.2.3. El IHSDM

Por el rigor de los estudios en los que está basado y por la facilidad de su aplicación práctica destaca el procedimiento de análisis de la consistencia **IHSDM** (*Interactive Highway Safety Design Module*, módulo interactivo de diseño para seguridad viaria). Se trata de un programa informático desarrollado por la Administración Federal de Carreteras (**FHWA**) de Estados Unidos (XIII), que permite evaluar varios aspectos de la seguridad viaria, de manera que se facilitan la detección de problemas potenciales de inseguridad, la comparación de la seguridad de varias alternativas, y la optimización de la seguridad de un diseño.

Comenzó a gestarse en 1994, y está previsto que esté compuesto por seis módulos independientes:

- Módulo de predicción de accidentes.
- Módulo de consistencia del diseño.
- Módulo conductor/vehículo.
- Módulo de revisión y diagnóstico de intersecciones.
- Módulo de revisión de normas.
- Módulo de análisis del tráfico.

Se encuentra disponible una versión aplicable a carreteras interurbanas de calzada única con dos carriles, aunque está previsto desarrollar una versión para carreteras multicarril. En la versión actual están

disponibles todos los módulos excepto el de conductor/vehículo.

El **IHSDM** evalúa la consistencia mediante un análisis del perfil de velocidades. Para evaluar la consistencia, realiza dos comparaciones: la velocidad operativa (V_{85}) se compara con la velocidad de diseño (V_d) y, además, se comparan entre sí las velocidades de elementos consecutivos. Los criterios para calificar la consistencia están fundamentados en los trabajos de Lamm y otros (XIV) (tabla 2.2-C). La evaluación se hace para cada uno de los dos sentidos de circulación.

Tabla 2.2-C.

Criterio	Intervalo (km/h)	Consistencia
$V_{85} - V_d$	$V_{85} - V_d \leq 10$	Buena
	$10 < V_{85} - V_d \leq 20$	Regular
	$20 < V_{85} - V_d$	Mala
ΔV_{85}	$\Delta V_{85} \leq 10$	Buena
	$10 < \Delta V_{85} \leq 20$	Regular
	$\Delta V_{85} > 20$	Mala

Una vez determinado el perfil de velocidades, el módulo de consistencia del **IHSDM** procede a la evaluación de ésta de acuerdo con los criterios de la tabla 1.4-C. Con el primer criterio representa gráficamente la consistencia asignando distintos colores al perfil de velocidades (figura 2.2-A de la página siguiente): diferencias de más de 20 km/h se representan en color rojo; diferencias entre 10 y 20 km/h, en color amarillo; y diferencias menores a 10 km/h en color verde.

De acuerdo con el segundo criterio de consistencia, el **IHSDM** coloca banderas coloreadas en el perfil de velocidades: las banderas rojas indican cambios de velocidad de más de 20 km/h; las amarillas, cambios entre 10 y 20 km/h; y las verdes cambios inferiores a 10 km/h. Hay que reseñar que, según Voigt (XVI), la siniestralidad en curvas con bandera roja podría ser seis veces mayor que en las curvas con bandera verde, donde no se requiere reducir la velocidad.

Además de las salidas gráficas de resultados, el **IHSDM** proporciona los resultados

(4) El grado de curvatura (GC) es el ángulo central subtendido por un arco de 100 pies (30,48 m). Su relación con el radio R es $GC (^\circ) = (1\,746,28) / R (m)$.

(5) Calculada como la media de las velocidades ponderadas por la longitud de cada elemento del trazado.

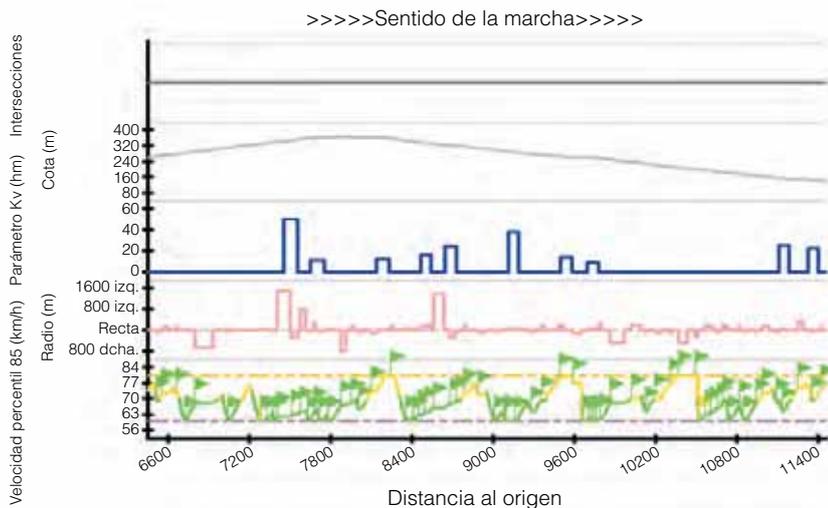


Figura 2.2-A. Resultados gráficos obtenidos con el IHSDM (Sánchez y Castro 2003).

en forma de tablas. La tabla con el perfil de velocidades es particularmente interesante, pues en ella se señalan con un asterisco las situaciones de deceleración forzada⁶.

El principal inconveniente de la aplicación del IHSDM al estudio de la consistencia del trazado en las carreteras españolas estriba en la utilización de modelos de perfiles de velocidades calibrados para las condiciones de circulación estadounidenses. Desde un punto de vista práctico, hay que reseñar la dificultad de la introducción de los datos del trazado de la carretera que se va a estudiar: es necesario introducirlos en un formato propio del IHSDM, o bien en un formato estándar (*Landxml*); y son todavía escasos los programas comerciales de trazado que exporten a alguno de ellos (XXII).

2.3. Normativa comparada

2.3.1. Alemania

En Alemania, hasta 2006 el diseño contaba con criterios basados tanto en la velocidad de diseño como en la velocidad específica⁷:

- La velocidad de diseño se basaba en la funcionalidad de la vía dentro de la red, y en el nivel de servicio deseado para ella, habida cuenta del relieve del terreno y de consideraciones económicas. Se empleaba para determinar las características mínimas y deseables de la mayoría de los elementos del trazado, y de las combinaciones entre ellos.
- La velocidad específica era, en todos los casos, mayor que la de diseño y no

inferior a la velocidad límite; y en ella se basaba la valoración geométrica de elementos concretos del trazado, como el peralte y la visibilidad. El motivo por el cual se diseñaban estos elementos en función de la velocidad operativa estimada era que si no se hubiera hecho de este modo, se habrían producido defectos de seguridad.

En las carreteras con calzadas separadas, ambas velocidades se estimaban en función de la tasa de cambio de curvatura (CCR) y de la anchura de la calzada.

La normativa alemana consideraba que:

- La velocidad específica no debía superar a la de diseño en más de 20 km/h, si la segunda no era inferior a 100 km/h; ni a 20 km/h en caso contrario. Si resultaba superior a 20 km/h, había que aumentar la velocidad de diseño o tomar medidas para limitar la velocidad operativa estimada.
- La diferencia de velocidad específica entre elementos consecutivos debía ser inferior a 10 km/h.

A partir de 2006, la normativa alemana (XVI) sufre un proceso de reestructuración. Entre otros tipos y clases, figuran ahora:

- Las autopistas (interurbanas y urbanas) pasan a ser objeto de una nueva norma, *Richtlinie für die Anlage der Autobahnen (RAA)*. Se clasifican en:
 - Continentales, **AS 0**.
 - Principales, **AS I**.
 - Interregionales, **AS II**.
- Desaparecen los conceptos de veloci-

dad de diseño y de velocidad específica, que son sustituidos por unas **condiciones de diseño (Entwurf Klassen Autobahnen)**: **EKA 1** para las autopistas federales, y **EKA 2** para las demás. Se pretende que se circule con seguridad en mojado a una velocidad recomendada⁸ de:

- 130 km/h (**EKA 1** para **AS 0** y **AS I**).
- 120 km/h (**EKA 1** para **AS II**).
- 100 km/h (**EKA 2** para **AS II**).
- Las carreteras convencionales de los *Länder* o Estados Federales pasan a ser objeto de otra nueva norma, *Richtlinie für die Anlage der Landstrassen (RAL)*. Se clasifican en:
 - Principales, **LS I**.
 - Interregionales, **LS II**.
 - Regionales, **LS III**.

También desaparece el concepto de velocidad de diseño, que es sustituido por unas **condiciones de diseño (Entwurf-Klassen Landstrassen)** **EKL 1** para las **LS I**, **EKL 2** para las **LS II**, y **EKL 3** para las **LS III**. La velocidad recomendable es de 110 km/h para **EKL 1**, 100 km/h para **EKL 2**, y 90 km/h para **EKL 3**.

2.3.2. Australia

La Guía australiana de diseño emplea un indicador del trazado (la velocidad deseada) como estimador de la velocidad operativa.

Basándose en los estudios de *McLean*, la velocidad deseada establece un "entorno de velocidad" (figura 2.3-A de la página siguiente) del cual se deriva, según el radio de la curva que se esté estudiando, la velocidad operativa en ella (percentil 85).

Para velocidades de diseño inferiores a 80-90 km/h, las velocidades operativas tienden a ser superiores a la de diseño; mien-

(6) Considera que hay deceleración forzada o incómoda si se sobrepasan los 4,5 (km/h)/s.

(7) Estimada, en las autopistas interurbanas (que no tienen límite genérico de velocidad), como el percentil 85 de la distribución de la velocidad operativa sobre pavimento mojado, que es función de la sinuosidad y de la anchura de la calzada; en las autopistas periurbanas y en las carreteras convencionales, coincide con el límite de velocidad.

(8) En Alemania se recomienda una velocidad (con señales del tipo **S-7**) en las carreteras (como las autopistas) en las que no hay límite genérico ni específico de velocidad. Rebasar esa velocidad recomendada no es un delito ni una falta, aunque en caso de accidente la responsabilidad del conductor se puede ver incrementada. En 1974 se introdujo una velocidad recomendada de 130 km/h en las autopistas alemanas, que siguen sin tener un límite genérico.

tras que se comportan al contrario cuando la velocidad de diseño es superior.

2.3.3. Austria

El límite de velocidad en las autopistas austríacas es⁹ de 130 km/h. Se ha estado discutiendo seriamente si suprimir ese límite o aumentarlo, e incluso se han permitido tramos experimentales con un límite de 160 km/h; pero se suprimieron en 2007.

La normativa austríaca en materia de autopistas representa un ejemplo extremo de la diferencia entre la *velocidad de proyecto* empleada para clasificar la vía¹⁰, y la *velocidad específica* que se deriva del diseño de sus elementos y, en concreto, de las relaciones entre ella, el radio de la curva, la inclinación de la rasante y la longitud del elemento. La velocidad de proyecto de un tramo es igual a la menor velocidad específica de sus elementos; pero la velocidad específica puede llegar a 140 km/h.

2.3.4. Francia

Los parámetros geométricos fundamentales para el trazado en planta y en alzado están determinados por una velocidad de proyecto convencional denominada *velocidad de referencia*, que sirve para determinar sus valores mínimos.

La oferta de la carretera en materia de velocidades, representada por una velocidad específica (igual a la de proyecto en los elementos más críticos) se compara entonces con la demanda, representada por la velocidad operativa en curva, deducida de una amplia campaña de medidas realizadas en los años ochenta (XVII). Se utiliza el percentil 85 de su distribución, para el que se adopta el menor de los dos valores estimados por las *figuras 2.3-B y C* en función del radio y de la inclinación de la rasante en rampa, si tiene más de 250 m de longitud.

Las **autopistas** interurbanas francesas (XVIII) se clasifican en dos categorías, según el estándar de sus trazados en planta y en alzado, como consecuencia de las características de su entorno (relieve, uso del suelo, etc.), que debe ser consistente con la percepción del usuario:

- **L₁**, adecuada para llanuras o valles donde los condicionantes del entorno

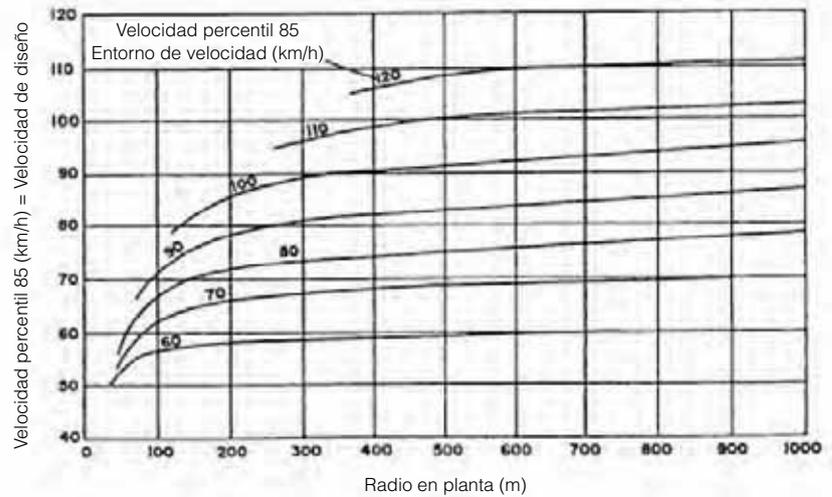


Figura 2.3-A. Entornos de velocidad en la Guía australiana de diseño de carreteras. Fuente: (III).

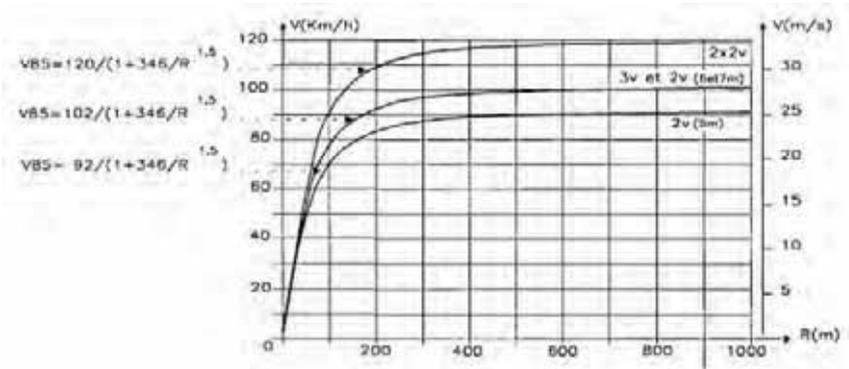


Figura 2.3-B. Velocidades operativas en función del radio. Fuente: (XVII).

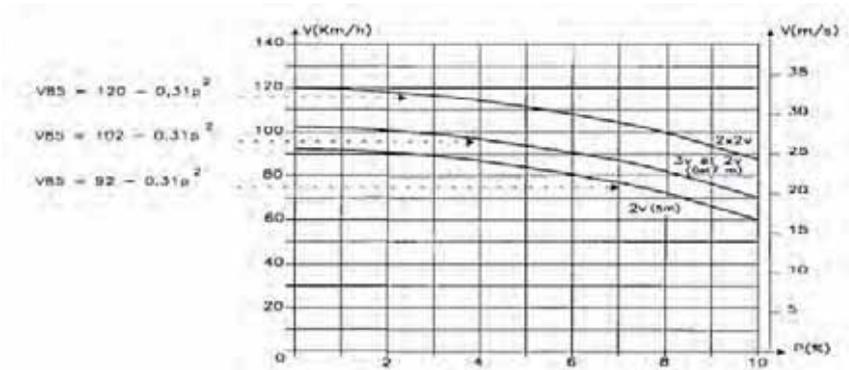


Figura 2.3-C. Velocidades operativas en función de la inclinación de la rasante. Fuente: (XVII).

son moderados. Límite genérico de velocidad 130 km/h.

- **L₂**, más adecuada para relieves más difíciles, debido a los impactos ambientales y económicos. Límite genérico de velocidad 110 km/h.

Los tramos contiguos que estén clasificados en categorías diferentes tienen que

tener una longitud mínima de 10 km; el cambio de categoría debe tener lugar donde el usuario pueda percibir claramente un cambio en el entorno.

Para las **carreteras convencionales**

(9) 100 km/h para autobuses y remolques, 80 km/h para camiones.

(10) Hay tres clases: 100, 120 y 140 km/h.

interurbanas (XIX) de calzada única (límite genérico de velocidad¹¹ 90 km/h) se clasifican en los siguientes tipos, para cada uno de los cuales se distinguen dos categorías:

- **T** (tránsito): se prima la movilidad a media o gran distancia.
 - **T80**: en terreno ondulado, permite en general un buen compromiso entre el coste y el confort dinámico.
 - **T100**: generalmente bien adaptada a un relieve no exigente.
- **R** (multifuncionales): constituyen la parte esencial de la red de carreteras principales fuera de poblado. Sirven a la movilidad a pequeña o media distancia, y a los usos ligados al entorno.
 - **R60**: en terreno ondulado, permite en general un buen compromiso entre el coste y el confort dinámico.
 - **R80**: generalmente bien adaptada a un relieve no exigente.

El cambio de tipo sólo debería tener lugar donde la carretera cambie de función, en general en una población o intersección importante. Dentro de un mismo tipo, los cambios de categoría pueden tener lugar donde haya una modificación claramente perceptible del relieve o del entorno: por ejemplo, penetración en un terreno ondulado o accidentado.

Una autopista que pase a través de un terreno con un relieve particularmente difícil (límite genérico de velocidad 90 km/h) no se incluye en las categorías anteriores, y su nivel de servicio será menor. Asimismo, hay carreteras situadas en esos tipos de terreno en las que respetar las reglas ordinarias conduciría a costes excesivos. Para que a esos tramos se les pueda dar un tratamiento especial, las dificultades deben ser continuas o frecuentes a lo largo de al menos una decena de kilómetros: no bastan unas dificultades aisladas¹².

En esos casos, se necesita un estudio especial de los siguientes temas:

- La integración en el entorno, general-

(11) En las carreteras del tipo R se puede adoptar un límite de velocidad de 110 km/h siempre que, en un entorno de puro campo abierto, no haya accesos directos de colindantes al conjunto de la vía. Esta condición no debe conducir a un tipo híbrido donde los nudos se resuelvan a distinto nivel; la mayoría deben adoptar la tipología en glorieta.

(12) Sin embargo, una carretera por el fondo de un valle no tiene necesariamente que ser considerada como una carretera en zona de relieve difícil.

Tabla 2.3-A.

CLASE DE VÍA		GAMA DE VELOCIDADES DE DISEÑO (km/h)	LÍMITE DE VELOCIDAD (km/h)	
Autopista	Interurbana	Tronco	80 - 140	130
		Vía de servicio	40 - 100	90
	Urbana	Tronco	80 - 140	130
		Vía de servicio	40 - 60	50
Carretera convencional interurbana	Principal	Tronco	70 - 120	110
		Vía de servicio	40 - 100	90
	Secundaria	60 - 100	90	
Vía arterial urbana	Tronco	50 - 80	70	
	Vía de servicio	25 - 60	50	
Vía urbana colectoras - distribuidoras		40 - 60	50	

mente frágil y con un importante valor paisajístico. A este respecto, el empleo de viaductos, túneles, muros de sostenimiento, etc. debe ser sistemáticamente estudiado y, en su caso, preferido (a pesar de su coste) a las grandes explicaciones que respetan menos el medio ambiente y normalmente se insertan peor en el paisaje.

- Las consecuencias del trazado sobre la geotecnia, la hidrología y el drenaje.
- Las consecuencias del diseño y del equipamiento viario (dispositivos de contención de vehículos, ayudas a la conducción, etc.) sobre la conservación y la explotación (gestión de riesgos naturales, vialidad invernal, desagüe, etc.).

Este tipo de tramos se iniciarán y terminarán donde haya un cambio brusco en el relieve (puerto de montaña, garganta) perceptible por los usuarios.

2.3.5. Italia

Se emplea (XX) el concepto de gama de velocidades de diseño, dentro de la cual se definen las características geométricas de los distintos elementos del trazado para permitir al proyectista adaptarlo al entorno atravesado, de manera que las velocidades operativas correspondientes a cada gama sean compatibles con la sección transversal.

- El extremo superior de la gama, que no debe ser inferior al límite genérico de velocidad, corresponde a los elementos menos estrictos del trazado.
- El extremo inferior de la gama corresponde a la velocidad de diseño de los elementos más limitativos del trazado.

Se recomienda adoptar valores superiores a dicho extremo inferior, si el entorno es favorable.

Las gamas de velocidad de diseño se indican en la *tabla 2.3-A*.

El proceso de diseño en Italia se apoya en perfiles de velocidad (uno para cada sentido de circulación) para comprobar la consistencia del trazado. Sólo se considera la curvatura en planta para establecerlos. Se asume que la aceleración y la deceleración, a razón de de 0,80 m/s² en valor absoluto, tienen lugar en las rectas o en las curvas de transición.

Se busca la consistencia del trazado:

- Evitando ir de un extremo a otro de la gama de velocidades de diseño en elementos contiguos.
- Escalonando la transición de las velocidades de diseño de tramos contiguos, si son muy diferentes.

A lo largo del trazado la velocidad específica de los distintos elementos del mismo debe ser tal, que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos o muy frecuentes en la velocidad operativa a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

Para identificar los tramos homogéneos y establecer su velocidad de diseño se debe atender a los siguientes criterios:

- La longitud mínima de un tramo de carretera con una misma velocidad de diseño debe ser de 3 km para velocidades entre 20 y 50 km/h, y de 4 km para velocidades entre 60 y 110 km/h.
- La diferencia de velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede ser mayor de 20 km/h.

No obstante lo anterior, si debido a un marcado cambio en el relieve del terreno en

Tabla 2.3-B. Restricciones (km/h) por sección y accesos.

TIPO DE PLATAFORMA	CALZADA ÚNICA						CALZADAS SEPARADAS					
							SIN ARCENES		CON ARCENES			
Anchura (m) de la calzada	6		7,3		10		7,3	11	7,3	11		
Número de conexiones y accesos por km.	9 a 12		6 a 8		2 a 3		6 a 8	2 a 3				
Anchura (m) del arcén	Normal	29	26	23	21	19	17	10	9	6	4	0
	1,5	31	28	25	23							
	0,5	33	30									

un corto tramo del itinerario fuera necesario establecer otro tramo con longitud menor, la diferencia de su velocidad de diseño con la de los tramos adyacentes no puede ser mayor de 10 km/h.

Para tener en cuenta en el diseño la relativa indisciplina de los conductores es necesario dimensionar los elementos geométricos de forma tal que puedan ser recorridos con plena seguridad a la velocidad máxima más probable con la que sería abordado cada uno de ellos: su velocidad específica. Su valor depende esencialmente de los siguientes parámetros:

- De la velocidad de diseño del tramo homogéneo en el que se encuentra incluido el elemento. Es deseable que a la mayoría de los elementos que integran el tramo homogéneo se les pueda asignar como velocidad específica el valor de la velocidad de diseño del tramo.
- Del trazado inmediatamente antes del elemento considerado, teniendo en cuenta el sentido en que el vehículo realiza el recorrido. La gran mayoría de los conductores, según la percepción del trazado que tienen delante, incrementan su velocidad operativa hasta rebasar en 20 km/h ó más la velocidad de diseño del tramo.

2.3.6. Reino Unido

La velocidad de diseño ha de estar en consonancia con las velocidades operativas que se esperan¹³. Se admite que éstas¹³ están influidas por tres tipos de restric-

ciones perceptibles por el usuario, a través de la relación contenida en el ábaco de la figura 2.3-D para carreteras interurbanas de nuevo trazado.

Las restricciones son:

- a) **Trazado (Alignment Constraint A_c)** (en km/h):

- Calzadas separadas:

$$A_c = 6,6 + \frac{CCR}{10}$$

- Calzada única:

$$A_c = 12 - \frac{VD}{60} + \frac{2 \cdot CCR}{45}$$

siendo: **CCR** (gon/km) la sinuosidad.

VD (m) la media armónica de la visibilidad disponible, considerando las superio-

res a 720 m como iguales a este límite.

- b) **Sección y conexiones (Layout constraint L_c)**: dada (en km/h) por la tabla 2.3-B.
- c) **Velocidad límite**: esta restricción resulta nula si sólo se aplican los límites genéricos interurbanos¹⁴; de lo contrario, se emplea el límite específico.

Las velocidades de diseño (*design speeds*) representan una estimación del percentil 85 de la distribución de las velocidades operativas; y se estructuran en gamas o franjas 120 - 100 - 85 - 70 - 60 - 50 km/h, con el sufijo **A** ó **B** para designar la categoría superior o inferior, respectivamente, de cada una.

Una vez establecido un trazado tentativo para una velocidad de diseño inicial, se calculan las velocidades correspondientes a las A_c y L_c de todos los elementos que, en un tramo de al menos 2 km, las presenten sustancialmente distintas: y ello para decidir si está justificado aumentar la velocidad de diseño o, si por el contrario, se pueden aplicar diseños excepcionales a algunos elementos para restringir el coste o el impacto ambiental.

En los acondicionamientos de corta longitud¹⁵ se sigue una técnica similar, salvo que se comprueba la consistencia de la velocidad con la de los tramos contiguos.

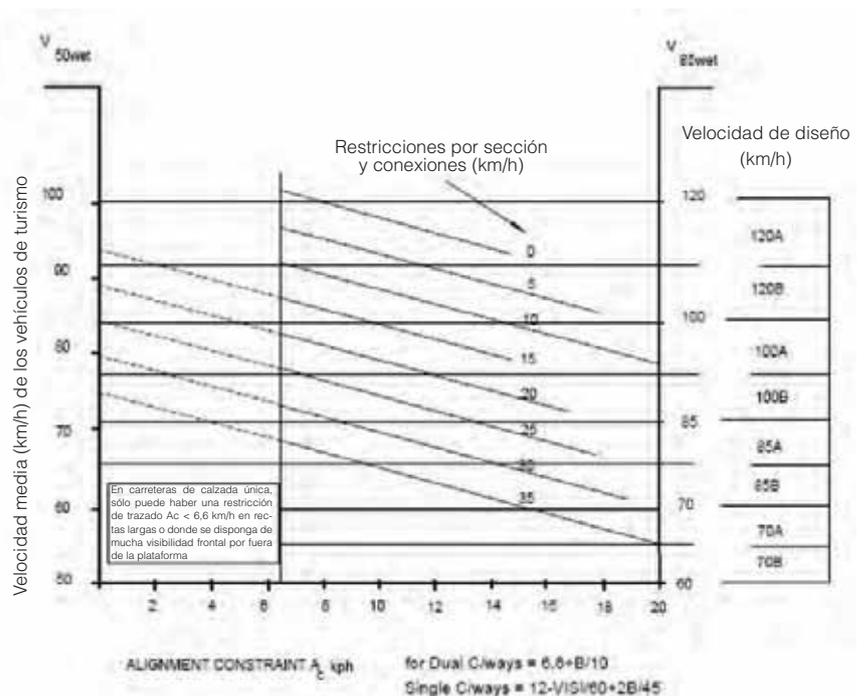


Figura 2.3.D. Ábaco para determinar la velocidad de diseño en carreteras interurbanas de nuevo trazado (Reino Unido).

(13) Representadas por la mediana o fractil 50 de la distribución de velocidades de vehículos ligeros.

(14) 112 km/h en carreteras con calzadas separadas; 96 km/h en carreteras de calzada única.

(15) Hasta unos 2 km.

2.3.7. Suiza

El suizo (XXI) fue el primer método de diseño que introdujo un modelo de perfil de velocidad para evaluar la consistencia del diseño, prediciendo la reducción de la velocidad operativa entre elementos sucesivos para evaluar la consistencia.

El perfil de velocidad se desarrolla a partir de la velocidad específica (constante) estimada en las curvas en planta, y de la máxima velocidad alcanzable en las rectas, habida cuenta de unas tasas de aceleración y deceleración de $0,80 \text{ m/s}^2$ en la entrada y la salida de las curvas, respectivamente.

Los criterios para que el diseño sea consistente son los siguientes:

- La máxima diferencia de velocidad entre una curva y la recta (o curva de mayor radio) anterior es de 5 km/h .
- La máxima diferencia de velocidad específica entre dos elementos consecutivos es de 10 km/h en carreteras con velocidad de diseño inferior a 70 km/h , y en todo caso se deben evitar diferencias de velocidad específica superiores a 20 km/h .
- La visibilidad disponible no debe ser inferior a la distancia requerida para reducir la velocidad con una deceleración de $0,8 \text{ m/s}^2$ entre curvas sucesivas.

Referencias

- (I) Warren, D. L.: *Chapter 17: Speed Zoning and Control, Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements Vol. 2, Report No. FHWA-TS-82-233, Federal Highway Administration*, Washington, D.C. 1982.
- (II) Polus, Abishail; Livneh, Moshe; Craus, Joseph: *Effect of Traffic and Geometric Measures on Highway Average Running Speed, Transportation Research Record n.º. 960*, págs. 34-39, 1984.
- (III) McLean, A. J.: *Speeds, Friction Factors and Alignment Design. Standards. Research Report ARR 154, Australian Road Research Board*, Victoria, Australia 1988.
- (IV) Tignor, S. C.; Warren, D. L.: *Driver Speed Behavior on U.S. Streets and Highways, Compendium of Technical Papers, Institute of Transportation Engineers*, Washington, D.C. 1990.
- (V) Fildes, B.N.; Rumbold, G.; Leening, A.: *Speed behaviour and Driver's Attitude Towards Speeding. Monash University Report No.16*, 1991.
- Fildes, B.N.; Lee, S.J.: *The Speed Review. Road Environment, Behaviour, Speed Limits, Enforcement and Crashes, Monash University for the Federal Office of Road Safety*, Report CR 127; 1993.
- (VI) Fitzpatrick, Kay; Miaou, S.-P.; Brewer, M.; Carlson, P.; Wooldridge, M. D.: *Exploration of the Relationships between Operating Speed and Roadway Features on Tangent Sections. Journal of Transportation Engineering, ASCE*, págs. 261-269. (2005).
- (VII) Lamm, Rudolf; Choueiri, E. M.: *Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the State of New York. Transportation Research Record 1122*, 68-78. (1987).
- (VIII) Lamm, Rudolf; Guenther, A. K.; Choueiri, E. M.: *Safety Module for Highway Geometric Design. Transportation Research Record 1512*, 7-15. (1995).
- (IX) Voigt, A.: *Evaluation of Alternative Horizontal Curve Design Approaches on Rural Two-Lane Highways. Texas Transportation Institute, Report No. TTI-04690-3*, Texas (1996).
- (X) Anderson, I.; Bauer, K. M.; Harwood, Douglas W.; Fitzpatrick, Kay: *Relationship to Safety of Geometric Design Consistency Measures for Rural Two-Lane Highways. Transportation Research Record 1658*, 43-51. (1999).
- (XI) Lamm, Rüdiger; Choueiri, E. M.; Mailaender, Theodor: *Comparison of Operating Speed on Dry and Wet Pavement of Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record 1280*, 199-207. (1990).
- (XII) Polus, Abishail; Mattar-Habib, C.: *New Consistency Model for Rural Highways and its Relationship to Safety. Journal of Transportation Engineering 130 (3)*, 286-293. (2004).
- (XIII) *IHSDM Design Consistency Module. Engineer's Manual. Federal Highway Administration (FHWA)*. Washington. 2004.
- (XIV) Lamm, Rüdiger; Choueiri, E. M.; Hayward, J. C.; Paluri, A.: *Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Roads. Transportation Research Record 1195*, 111-122. (1988).
- (XV) Castro, María: *El trazado y la velocidad. La inseguridad viaria: Aspectos prácticos en el proyecto de las carreteras y de sus elementos*. Curso organizado por INTEVIA. Madrid, 2005.
- (XVI) *Neue Richtlinie für die Strassenentwurf. Grundlagen und Hintergründe der künftigen Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, Landstraßen und Stadtstraßen. Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen*. Coloquio en la Universidad de Karlsruhe, 12 de diciembre de 2006.
- (XVII) Gambard, Jean-Michel: *Vitesses Pratiques et Géométrie de la Route. Note d'Information B.C.10. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)*. Abril 1986.
- (XVIII) *Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL). Circulaire du 12 décembre 2000, Direction des Routes, Ministère des Travaux Publics, Transports et Logement*. París, diciembre 2000.
- (XIX) *Recommandations Techniques pour la Conception Générale et la Géométrie de la Route. Aménagement des Routes Principales (sauf les autoroutes et routes express à deux chaussées). Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)*. Bagneux, agosto 1994.
- (XX) *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade. Decreto ministeriale del 5 novembre 2001. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*.
- (XXI) *Projectierung, Grundlagen. Geschwindigkeit als Projectierungselement. Schweizerische Verband des Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). SN 640080b*. (1991). ❖



Inseguridad sustantiva sostenible...., pero no sustentable.

Medición de los niveles de seguridad e inseguridad

Francisco Justo Sierra
Ingeniero Civil UBA
María Graciela Berardo
Ingeniera Civil UNC
Alejandra Débora Fissore
Ingeniera Civil UNSa
y Luis Raúl Outes
Ingeniero Civil UBA

Resumen

El artículo es una versión abreviada de una de las cuatro monografías presentadas en el II CISEV 2010 de Buenos Aires por un grupo de cuatro ingenieros civiles argentinos recibidos en las universidades nacionales de Córdoba, Salta y Buenos Aires, dedicados profesionalmente al diseño geométrico de caminos. Las otras tres monografías fueron, Ingeniería de Se-

guridad Vial: Autorrevisión de Proyectos, Distancias de Diseño Geométrico Fisiológicamente Visibles, y El Camino Tricarril. Las cuatro están publicadas enteramente en el DVD del Congreso.

Tomando como guías las enseñanzas de los principales referentes de la Ingeniería de Seguridad Vial, Kenneth Stonex, Jack Leisch, John Glennon, Ezra Hauer, y el argentino Pascual Palazzo, se tratan los principales hallazgos prácticos y conceptuales para mejorar la Seguridad Vial concebidos en los últimos 50 años: **zona despejada**, beneficios de pavimentar las banquetas, apaciguamiento del tránsito, saltos en la velocidad de operación, accidentes por salida desde la calzada, la caída de borde de pavimento, flexibilidad de diseño, diseño

sensible al contexto, coordinación planialtimétrica, coherencia de diseño, dominio de diseño, seguridad nominal y sustantiva, ser y parecer seguro, excepciones a la norma, inseguridad sustantiva sostenible, factores de modificación de accidentes, el programa IHSDM, el Manual de Seguridad Vial de la FHWA, rotondas modernas, la seguridad pragmática y la racional, administración de la velocidad, administración de accesos, mitos derribados por Hauer, homeostasis del riesgo, muerte de las barreras como panaceas de la seguridad vial. Se citan las fuentes en una bibliografía básica y esencial.

Los objetivos pretendidos fueron difundir los actuales paradigmas de la Ingeniería de Seguridad Vial y poner de manifiesto la

brecha continuamente creciente entre los conocimientos de la Ingeniería de la Seguridad Vial en el orden internacional y en la Argentina, donde todavía se rinde culto a conceptos obsoletos, tanto en las normas de los organismos viales como en la enseñanza universitaria de los cursos de grado, cuyos egresados, sin la formación necesaria, tienen incumbencia para diseñar caminos. Como resultado de lo cual los frutos frecuentes son obras que no cumplen los mínimos resguardos en pro de la Seguridad Vial, como lo demuestran los índices de muertos, heridos y daños materiales, ya fuere en caminos comunes, autopistas o autopistas.

1. Introducción

1.1. General

La Seguridad Vial es la esencia de la Ingeniería Vial; estudia y aplica los conocimientos de seguridad basados en los hechos reales, básicamente con métodos de "prueba y error", con el objetivo de **disminuir la frecuencia y gravedad de los accidentes viales**. El transporte vial no es susceptible de experimentos controlados de laboratorio; el "objeto" es la red vial existente, la "prueba" es la operación del tránsito vehicular que sobre ella se desplaza, y los "resultados" se relacionan con dos conceptos: eficacia y seguridad (a veces contrapuestos si en el concepto de eficacia se pretende dar peso preferente a las altas velocidades de operación). En este "laboratorio" mundial de millones de km de caminos de todo tipo, mediante la observación, recopilación de datos, medición, estadística, conocimiento del comportamiento humano, el investigador sagaz extrae resultados, relaciones, y formula conclusiones, recomendaciones y normas, y se conciben procedimientos y contramedidas aptos para **mejorar la seguridad vial** (la salud de los usuarios, la salud pública). Para facilitar la toma de decisiones del ingeniero vial, los investigadores procuran proveer información cuantitativa y metodologías para medir, estimar y pronosticar el probable comportamiento frente a la seguridad de planes, programas, proyectos, obras y operación de caminos, en términos de **frecuencia y gravedad de los accidentes**.

1.2. Desarrollo de la Ingeniería de Seguridad Vial.¹

Desde la invención del automóvil, los ingenieros viales intuyeron con acierto cuál era la característica principal relacionada estrechamente con la seguridad vial, y se preocuparon por proveer *distancia de visibilidad* adelante de los vehículos para que el conductor pudiera controlar la trayectoria y velocidad. Circa 1915, los manuales viales recomendaban *visión clara adelante* de unos 75 m. Al aumentar las velocidades permitidas se aumentaron las distancias visuales mínimas: 120 m en 1924; 150 m en 1926; 180 m en 1935; 240 m en 1937. En 1936, además de la velocidad, los ingenieros alemanes introdujeron en el análisis los conceptos de *tiempo de percepción-reacción* (1 s)*, coeficientes de fricción longitudinal (0,4 – 0,5); altura del ojo del conductor (1,2 m); altura del objeto (0,2 m). Desde 1940, las políticas de diseño geométrico de AASHO-AASHTO definieron límites aceptables de *distancia visual de detención* basados en análisis conjeturales más que racionales de los requerimientos de la seguridad. Por falta de registro, procesamiento, análisis y evaluación de los accidentes viales, no se conocía cómo variaban en frecuencia y gravedad al variar la distancia visual, por caso. Tampoco fueron totalmente entendidos los aspectos de altura de ojo y objeto, adecuado tiempo de percepción-reacción y razonables distancias de frenado, los cuales hoy se consideran *coeficientes de ajuste* de modelos matemáticos obtenidos por regresión, para relacionar dos variables: la velocidad y la distancia de detención segura, ambas medidas rigurosamente en observaciones y experiencia de campo. Algunas suposiciones o conjeturas de los ingenieros viales para relacionar la seguridad con los elementos visibles del camino perduran, y los posteriores registros de frecuencia y gravedad de los accidentes confirmaron su relativa validez. En tales conjeturas, los ingenieros solían recurrir a *variables sustitutas* para *medir* el nivel de seguridad. Por ejemplo, en 1944 Taragin² supuso que el ancho de carril más seguro (menor frecuencia y gravedad de accidentes frontales) en un camino de dos sentidos era el que no causaba la *pulsión del con-*

*ductor** de apartarse de otro vehículo al cruzarlo en sentido contrario. En este caso, la *variable sustituta fue el apartamiento nulo* para carriles entre 3,3 a 3,6 m, o más de ancho^{3,3}. A pesar de no haber demostrado ser acertadas, otras conjeturas lamentablemente perduran; por ejemplo, suponer *mayor comodidad-seguridad* del conductor con longitudes de curvas de transición de más de unos 60 m, o suponer que con tal de mantener el *equilibrio dinámico* variando el radio, peralte y fricción transversal de una curva horizontal diseñada para una dada velocidad directriz, el nivel de seguridad (frecuencia y gravedad de los accidentes) no variaba; el conocimiento racional basado en los hechos demuestra que los accidentes aumentan con la disminución del radio, independientemente del equilibrio dinámico.

El peligro de sustituir la medida real de la seguridad –es decir, frecuencia y gravedad de los accidentes– por sustitutos surge cuando la conexión entre los dos es conjetural; cuando el vínculo permanece sin probanzas, y cuando el uso de sustitutos no probados se vuelve tan habitual que se olvida la necesidad de hablar en términos de accidentes. El campo de la seguridad vial está cubierto con carcasas de plausibles, aunque no indudables, conjeturas.^{3,3}

En gran parte influida por la precursora ingeniería ferroviaria, en la ingeniería vial prevalecieron al principio los modelos matemáticos mecanicistas de Newton, con poca o nula consideración del comportamiento humano del conductor. Se pretendía que los conductores –supuestos aptos, de rápidos reflejos, con conocimiento teórico-práctico de las reglas de buen manejo– se adecuaban a los elementos geométricos propuestos por el proyectista. Si ocurría un accidente por salida-de-la-calzada, se presumía la culpa del *tonito* al volante. En los 60, Ken Stonex⁴ comprobó en sus experiencias en el Campo de Pruebas de la General Motors que hasta el conductor más diestro puede tener accidentes por salida desde la calzada o de otro tipo, aun en un circuito diseñado con los más altos estándares de diseño de AASHO, vigentes en aquellos años; desde entonces los despistes se

* Primeros factores de comportamiento mental humano considerados en el diseño vial.

Referentes ineludibles de la Ingeniería de Seguridad Vial



Kenneth A. Stonex. Durante 37 años ganó reconocimiento internacional por sus contribuciones a la seguridad vial en el Campo de Pruebas de la General Motors. Diseñó y desarrolló numerosas mejoras para reducir la probabilidad de muertes y lesiones de los usuarios viales, desde dispositivos laterales de contención hasta soportes rompibles de señales; fue un pionero en diseñar costados de la calzada despejados e *indulgentes*.



Jack E. Leisch. Durante 54 años trabajó en casi todos los sectores de la ingeniería de transporte. Se distinguió por su conocimiento y aplicación a la ingeniería vial, y aumentó los conocimientos de la ciencia mediante la investigación; desarrolló y enseñó técnicas nuevas e innovadoras en planificación y diseño geométrico de caminos, particularmente en su propuesta de ver el diseño del camino desde el punto de vista del conductor.



John C. Glennon. Doctor Ingeniero Civil, especialista en ingeniería de tránsito, diseño vial, investigación y reconstrucción de accidentes viales, e ingeniería de los factores humanos. Investigador de criterios de seguridad vial, regulaciones de velocidades, seguridad a los costados de la calzada, análisis de 'puntos negros', justificaciones de los dispositivos de contención, autor de más de 100 informes técnicos reconocidos y premiados internacionalmente.



Ezra Hauer. Doctor Ingeniero, Profesor Emérito de la Universidad de Toronto. Ganó fama internacional por su rigurosidad científica y por la comprensión práctica para relacionar el diseño geométrico y la seguridad vial. Su escrito sobre *Normas y Seguridad* es un clásico en la bibliografía vial mundial. Es un innovador en los principios de la ingeniería vial; y muchos hallazgos de sus investigaciones guiaron la redacción del IHSDM y el HSM.

consideran un hecho natural que le puede ocurrir a cualquier vehículo-conductor. Esto ya había sido intuido por nuestro ingeniero Pascual Palazzo en 1937.

Con ritmo y resultados variables, la investigación avanzó en los conceptos de *expectativas del conductor*, *coherencia del diseño*, *zona despejada* y *costado del camino indulgente* para adecuar el camino al comportamiento humano. Paulatinamente, en las guías, recomendaciones y normas viales (*Yellow Book* y *Roadside Design Guide* de AASHTO)^{5,5,3} se tuvo mayor consideración a las aptitudes del conductor medio, y la tendencia del diseño fue adecuar las características del camino a tales aptitudes. Los más recientes y completos estudios y publicaciones de la FHWA y AASHTO sobre la relación entre la Seguridad Vial y el planeamiento, diseño, construcción y mantenimiento de las características visibles de proyectos o de caminos existentes son los programas *IHSDM*^{6,2, 12,3} y *SafetyAnalyst*, y el *Highway Safety Manual*.^{5,1}

El diseño vial puede reducir la incidencia del error humano, puede reducir la posi-

*bilidad de que un error humano termine en un accidente, y puede menguar la gravedad de las consecuencias de accidentes iniciados por un error humano.*³

2. Ingeniería de seguridad vial (Según enseñanzas de "Los Referentes")

2.1. Administración de la Seguridad Vial^{3,2}

Hay dos estilos prototípicos extremos de administrar la seguridad vial.

El *estilo pragmático* se basa en creencias populares generalizadas sobre la seguridad vial, relacionadas con Educación y Control: eficacia de los controles policiales, importancia de aprobar leyes más estrictas y castigos más firmes, mejor educación del conductor y exámenes más estrictos. Los profesionales de la Ingeniería de Seguridad Vial ajustados a este molde no necesitarían conocer cualesquiera 'hechos' acerca de la seguridad vial, salvo las creencias; no necesitarían ninguna investigación o cono-

cimiento distinto de cuál es la opinión pública. No habría ninguna razón real para determinar cuáles fueron las consecuencias de cualquier iniciativa de seguridad, salvo que parecieran favorables según datos de ignota fuente, y pudieran utilizarse para relaciones públicas y autoelogio.

El *estilo racional* tiene sus raíces en el deseo y propósito de la Ingeniería de Seguridad Vial de reducir eficientemente el daño de los accidentes, prever las probables consecuencias de sus decisiones y acciones, determinar costos y beneficios, establecer prioridades, aprender de la experiencia y el experimento, emplear el conocimiento factual existente, y, sobre tal firme base, aplicar contramedidas de prevención (proyecto vial) o mejoramiento (camino existente).

Determinar con precisión en una cadena de errores consecuentes el porcentaje de incidencia o participación de cada eslabón en un accidente vial es una tarea imposible, aunque generalmente se acepta que el factor 'camino' contribuye en un 30%. La función principal del ingeniero vial, reclamada por la mayoría de los usuarios,

Concientización previa: galería de citas sobre la Ingeniería de Seguridad Vial

- *Lo malo no es sólo que haya accidentes de tránsito, sino lo poco que sabemos de por qué se producen y lo poco que hacemos para evitarlos.* Einstein (Cita de Xumini)⁷.
- *No hay sino un medio de evitar accidentes en los caminos, es hacer que sean improbables, pero no improbables para una especie ideal, inexistente, de conductores (...) sino para los hombres tal cual son o tal cual llegan a ser en las diversas circunstancias de la vida diaria.* Palazzo.
- *En tanto la mayor parte de los accidentes se atribuyen a errores de los conductores, ¿por qué tantos conductores hacen los mismos errores en los mismos lugares de la red vial? Los ‘puntos negros’ de accidentes no son inventos.* Lamm.
- *Si alguien está convencido de que el 90% de los accidentes viales es responsabilidad del conductor, el 5% del camino y el 5% restante del vehículo, creo que no hay nada que hacer en el camino. Ese discurso tradicional con el que trabajamos tantos años es un discurso obsoleto, inútil, que nos llevó a la ineficacia absoluta. (...) En muchos casos, las decisiones erróneas del conductor son forzadas por un mal diseño o diseño no perfecto. Y ese diseño no perfecto, ese diseño no adecuado, causa la decisión equivocada. Lamentablemente, en caminos, error o decisión equivocada quiere decir accidente, y lamentablemente accidente y seguridad pasiva baja quieren decir muertos o, en su caso, lesionados de diferente grado.* Díaz Pineda.
- *A los ingenieros civiles no se nos enseña a prever las repercusiones sobre la seguridad vial de nuestras decisiones de diseño; planeamos, diseñamos, y construimos caminos sin saber las consecuencias de nuestras acciones.*³
- *La mayoría de las decisiones para mejorar la seguridad vial se basaban en la intuición y el juicio (“pragmatismo”), ahora se advierte una tendencia hacia las decisiones basadas en hechos y en ciencia (“racionalidad”). Esta transición tiene hambre de conocimiento de los hechos, y de ingenieros viales formados en ellos.*³
- *Con la nueva herramienta de software ‘Modelo Interactivo para Diseñar la Seguridad Vial’ (IHSDM), el proyectista vial predice el comportamiento a los accidentes, de cualquier opción de diseño en el tablero de dibujo.*³
- *La esperanza actual es que el HSM (Manual de Seguridad Vial) se convierta en una referencia estándar para la Ingeniería de Seguridad Vial, al igual que el HCM (Manual de Capacidad Vial) lo es para la Ingeniería de Tránsito.*³

es procurar reducir con sus acciones la frecuencia y gravedad de los probables accidentes viales futuros.

2.2. Diseño y riesgos

Los ingenieros viales deben estar capacitados para utilizar en sus diseños los comprobadamente eficientes criterios de seguridad vial, mediante el cumplimiento de los cuales se procurarán caminos de mejor calidad, al disminuir la probabilidad de problemas de seguridad u operación de tránsito.

El riesgo se define como un suceso incierto o condición que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en los objetivos de un proyecto; es una probabilidad, no una certeza, y se desconoce el nivel de sus consecuencias, positivas o negativas. El riesgo podría conducir a una prestación que sería inalcanzable sin tomar ese riesgo; o podría ser más tolerable cuando sea bajo, en relación con el beneficio potencial de la acción incurrida en el riesgo.

La clave es comprender y evaluar los riesgos potenciales asociados con un

proyecto y sopesar (*medir*) las ventajas y desventajas para tomar las mejores decisiones posibles. En un mundo ideal, los organismos viales y sus ingenieros tratarían de reducir o mitigar todos los riesgos potenciales asociados a un proyecto; pero, en el mundo real, los presupuestos limitados obligan a determinar concienzudamente las prioridades. En muchos casos, los riesgos asociados con una decisión pueden *mitigarse* con la inclusión o mejoramiento de otras características que puedan compensarlos. Por ejemplo, ancho de carril ‘menor que el más seguro’ compensado con banquina o ‘zona despejada’ más ancha.

2.3. Información básica para administrar el riesgo

La administración de riesgos es el proceso de identificar, evaluar, priorizar y mitigar los riesgos, que coordinadamente conduzca a minimizar, monitorear y controlar los riesgos y sus consecuencias. Parte de este proceso es evaluar la probabilidad de que ciertos riesgos se produzcan. Identificar los riesgos implica el conocimiento y análisis

de todas las cuestiones pertinentes, entre ellas: *Inventario vial, Datos de tránsito, Registro de accidentes, Parque automotor, Factores humanos, Uso del suelo.*

2.4. Riesgos de administrar el riesgo

Los organismos viales y sus ingenieros deben ser conscientes del *riesgo* de demandas judiciales derivadas de accidentes (riesgo de responsabilidad civil) y el *riesgo* de que una solución adoptada no funcione según lo esperado en términos de seguridad, facilidad de mantenimiento y operaciones. Otros riesgos asociados incluyen demoras, mayores costos, factores políticos, condiciones cambiantes del lugar (clima, disponibilidad de materiales).

La *responsabilidad civil por daños* es un riesgo clave. Según la formación de los jueces, los ingenieros viales podrían ser reacios a considerar las *excepciones de diseño* por temor a aumentar la vulnerabilidad del organismo vial a los litigios de responsabilidad civil.

Las *excepciones de diseño* bien fun-

dadas sólo tienen sentido siempre que no pongan en peligro la seguridad del proyecto; es un legítimo ejercicio del juicio profesional ingenieril que no evidencia un diseño defectuoso. Si el proyectista trabaja estrechamente con las partes interesadas, es creativo dentro de las buenas prácticas de Ingeniería de la Seguridad Vial, y documenta completamente todas las decisiones, se minimiza o anula el riesgo asociado con una acción de responsabilidad civil futura.

La ultratrasgresión de la ley o norma es la irracional y contumaz degeneración de la legítima excepción de diseño; significa usar 'criterios' muy inferiores a los mínimos absolutos con probado riesgo extremo de la seguridad vial. Dicho sin eufemismos, son acciones criminales con consecuentes responsabilidades penales.

El relativamente reciente concepto de *flexibilidad de diseño*^{6,3,5,4} o *soluciones sensibles al contexto* procura respetar más los valores sociales, culturales, históricos, estéticos, paisajistas y ambientales, y preservar los bienes de la comunidad de los lugares por donde se desarrolla un camino. El concepto agrega valor a las normas

o políticas de diseño, con tal que para su aplicación no se requieran excepciones de diseño que disminuyan la seguridad vial. A menudo, los ingenieros proyectistas pueden elegir valores adecuados de diseño dentro de un rango permisible definido por los criterios de seguridad aplicables (*dominio de diseño*). El diseño flexible es parte de la evolución en curso de la ingeniería vial, que tiene en cuenta una gama más amplia de consideraciones que en el pasado. El diseño flexible no es intrínsecamente menos seguro; es una manera diferente y más amplia de combinar los factores para que un camino sea más seguro, sin afectar la movilidad. Las preocupaciones conjuntas de seguridad y flexibilidad son compatibles y van un paso adelante de sólo incorporar en el proyecto los objetivos de seguridad vial; **no hay flexibilidad sin seguridad.**

El ingeniero vial tiene que entender la base funcional de los componentes de un camino y cómo interactúan, incluyendo la velocidad directriz, ancho de carril, sección transversal, y alineamientos. Con mayor conocimiento del contexto comunitario tiene que juzgar si un elemento de diseño su-

puesto deficiente significa un riesgo aceptable; debe decidir si el rendimiento operativo del diseño, la seguridad, utilidad o estética se afectan negativamente, y recordar que cada proyecto es único, con contexto, circunstancias y características locales distintas.

Hay una mala percepción común de que al incorporar la flexibilidad en un proyecto vial, irremediamente se pone en peligro la seguridad; por el contrario, la flexibilidad puede en realidad aumentar la seguridad de los proyectos viales.⁶

2.5. Riesgo de administrar la velocidad directriz

La selección de la velocidad directriz es una de las opciones más críticas de diseño; establece un valor índice que influye profundamente en los valores de diseño para las características visibles del camino, tales como la nitidez de las curvas, la inclinación de las pendientes y la planimetría del camino.

Adoptar un valor menor no equivale a un diseño inferior; pero elegir la más alta



velocidad directriz impone valores más estrictos del alineamiento y sección transversal, los cuales pueden resultar en prohibitivos mayores costos o impactos ambientales insoportables.

La estafa mayor, traicionera y criminal para el crédulo público usuario es señalar altos límites de velocidad máxima y segura, superiores en 20 ó 30 ó 40 km/h a la velocidad directriz. Se alcanza la cima del riesgo al ejercitar un criticable rasgo nuestro: quiero, pero no puedo; pero simularé que puedo. Aunque se ponga en extremo riesgo la vida del prójimo, con la insalubre viveza criolla se llega a dar gato por liebre, placebo por medicamento, límite de velocidad máxima segura de 130 en lugar de 90 ó 110 km/h.

2.6. Normas y seguridad

Desde el principio de la Ingeniería Vial, los ingenieros advirtieron y reconocieron la necesidad de flexibilizar el diseño. Por ejemplo, en el artículo *Uso y abuso de las normas viales de Engineering and Contracting*, agosto 1914, se concluyó:

Las normas de diseño son simplemente criterios y valores de diseño recomendables a los cuales conviene adherirse, salvo que una variación se ajuste mejor a las condiciones locales (...). A menudo, no estudiar detalladamente las condiciones locales resulta en injustificados mayores costos y en un tipo de construcción pobremente ajustado al lugar.

En el prefacio del Libro Rojo de AASHTO 1973 se resumía el enfoque adoptado:

Un buen diseño no necesariamente resulta del uso directo de los valores de la norma. Para obtener un diseño vial verdaderamente eficaz y más seguro, bien ajustado a la topografía y otros controles, con impactos sobre el ambiente aceptables para la comunidad, debe hacerse cuidadosamente a medida de las condiciones locales.

Es difícil saber qué pensaban los integrantes de los equipos redactores de normas de diseño al debatir un tema. Seguramente, el marco contextual de sus deliberaciones estaba influido por el propósito de los ingenieros de establecer normas, justificaciones y guías para diseñar buenos caminos, y el propósito de otros (por ejem-

plo, abogados) para adecuar tales diseños a los convenientes recaudos legales de los organismos viales. De esta dualidad y contradicción de propósitos (guiar el diseño de ingeniería y proteger al organismo vial contra demandas y mala publicidad) surgió una dualidad de situaciones y actitudes:

- Es obligación del ingeniero proteger la seguridad del público en los límites practicables.
- El mismo público es también una fuente de adversidad para el ingeniero en la forma de quejas y demandas.

Este proceso histórico condujo a lo que ahora tenemos: normas, justificaciones y procedimientos de diseño casi vacíos de información cuantitativa acerca de las repercusiones de seguridad de las decisiones de ingeniería. No resultaron de una conspiración de los organismos viales, ni indican falta de integridad personal o preocupación por la seguridad. Reflejan un juicio generalizado e irracional de que es preferible y suficiente hablar acerca de la seguridad vial en términos cualitativos. Mediante riguroso análisis, Hauer^{3,3} estudió en profundidad la relación entre normas y seguridad, y con claro y ameno lenguaje la expuso, junto con sus conclusiones y la desacralización de arraigados mitos; todo lo cual ocupa un lugar preferente en la antología de asertos debidamente fundados sobre la relación entre normas y seguridad vial:

- *Los proyectistas viales, abogados y jueces creen que los caminos construidos según las normas son seguros; la verdad es que los caminos diseñados según las normas no son seguros, ni inseguros, ni apropiadamente seguros; los caminos diseñados según las normas tienen un impremeditado nivel de seguridad.*
- *Las normas de diseño vial no son la frontera entre seguro e inseguro; reflejan lo que un comité de profesionales de ese tiempo consideraba ser una buena práctica general.*
- *Según cómo se diseñe y construya, un camino determinará cuántos y cuán graves serán los accidentes en él; el interés de la seguridad (salud) pública requiere que el diseño vial sea más consciente de la seguridad y más basado en el conocimiento factual.*
- *Las fallas de la seguridad vial no son*

siempre obvias. Si un puente colapsa o un sótano se inunda, la falla es manifiesta. No así en seguridad vial; una carencia de seguridad vial es un asunto de grado y puede volverse manifiesta sólo por medio de una larga historia de accidentes. Por ello, usualmente permanece sin reconocerse.

Moraleja 1. *Si diseñar según las normas es insuficiente, si el uso de las normas no funciona bien en la ingeniería de seguridad vial, si diseñar según las normas resulta en un impremeditado nivel de seguridad de nuestros caminos, entonces el gobierno y la profesión de ingeniería tienen un trabajo pendiente.*

Moraleja 2. *Ningún camino está libre de accidentes –ni aun la autopista más moderna y desierta– ergo, el camino seguro es un mito; sólo hay caminos más o menos seguros.*

Hauer formuló estos conceptos sobre las normas y políticas –vigentes en América del Norte hasta aproximadamente el cambio de siglo– y su relación con la seguridad. En el 2005 comentó^{3,2}: *hasta hace poco, los documentos sobre diseño geométrico vial no tenían ninguna información explícita de las consecuencias de las decisiones de diseño de rutina sobre los accidentes. Esto cambió radicalmente en la reciente Guía Canadiense (TAC 1999), y modestamente en la nueva Política de los EUA (Libro Verde AASHTO 2001).*

En gran parte, las normas de diseño geométrico de la DNV, vigentes desde 1967, se basan en el último Libro Azul (AASHTO 1965). Ergo, sin información explícita de las consecuencias de las decisiones de diseño de rutina sobre los accidentes. Los proyectistas y revisores procuran respetar los valores de la norma, preferiblemente los mínimos absolutos del dominio de diseño, por suponerlos de menores costos para la repartición, pero no de mayor seguridad para el usuario.

2.7 Concepto de dominio de diseño^{8,1}

En la Adenda 1971 del Libro Azul 1965, AASHTO introdujo importantes modificaciones a la distancia visual de detención, de las que resultaron valores mayores. AASHTO no cambió los valores del 65, los dejó

como *mínimos absolutos*, y a los nuevos los llamó *mínimos deseables*. Y lo mismo con las dimensiones derivadas o sobre las cuales influye la distancia visual de detención; p.ej., parámetros de las curvas verticales convexas. Errónea y lamentablemente, los proyectistas asumimos que los valores del rango entre ambos mínimos tenían el mismo nivel de seguridad.

Esta decisión de AASHTO dio origen al concepto de *dominio de diseño*, que no es más que un rango de valores, cualquiera de los cuales podría adoptarse como un parámetro de diseño particular entre los límites superior e inferior, y con cuya adopción resultaría un aceptable, aunque variable, nivel de comportamiento en condiciones medias, en términos de seguridad, operación y consecuencias económicas y ambientales.

Según cual fuere el elemento geométrico considerado serán las relaciones, algunos elementos son prácticamente inamovibles; p.ej., gálibo vertical de estructuras de paso superior. Para los elementos menos rígidos, la tendencia general es que al crecer su dimensión –p.ej., ancho de banquina en la *figura 1*– también crezcan la movilidad y los costos de capital, mantenimiento e impacto ambiental; y disminuyan los costos de operación de vehículos y los índices de accidentes.

Con una buena y completa base de datos y software, es práctico estimar cambios en el nivel de servicio, costo y seguridad al cambiar dimensiones de diseño dentro del dominio de diseño del elemento geométrico considerado, y al establecer relaciones entre costos y beneficios de la seguridad, para lo cual se comienza por analizar los costos que para la sociedad importan los muertos, heridos y daños materiales, y cuáles son los beneficios por los probables ahorros en muertos, heridos y daños materiales, al ajustar el diseño.

3. Seguridad nominal y seguridad sustantiva

3.1. General

En relación con el riesgo, una seguridad mayor podría clasificarse según los conceptos de *nominal* o *sustantiva*.

- *La seguridad nominal se refiere al grado de adhesión de un proyecto a los*

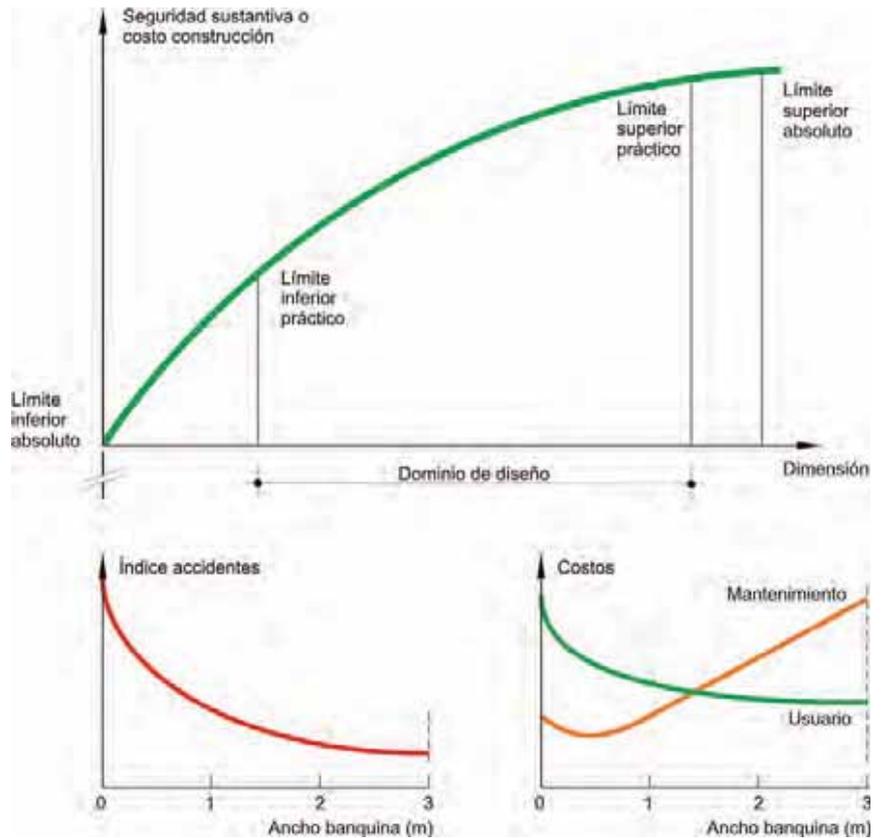


Figura 1. Dominio de diseño.

critérios, guías, recomendaciones y normas establecidas por el organismo vial.

- *La seguridad sustantiva es independiente del observador y determina los niveles de seguridad real o prevista a largo plazo de un camino con específicas condiciones de emplazamiento, geométricas y operacionales, según lo mide la frecuencia anual de accidentes por km, y las consecuencias de los accidentes según cual fuere el número de muertos, el número y gravedad de los heridos, y el valor de los daños materiales.*

El diseño de la ingeniería de seguridad vial es un ejercicio de la administración de riesgos, dado que el desempeño de seguridad de cualquier diseño es relativo. No es raro que un camino nominalmente seguro –todas las características geométricas cumplen sus criterios de diseño– sea sustantivamente inseguro, con conocidos problemas de accidentes. Tampoco es raro que un camino nominalmente peligroso –varias características geométricas no cumplen los criterios actuales de diseño–

sea sustantivamente seguro, con pocos o ningún accidente registrado.

Al revisar las condiciones de seguridad de un camino o al investigar un accidente, la medida de la seguridad nominal es sólo un *componente*; el resto de la revisión debe incluir los factores humanos, el guiado positivo y una evaluación de la seguridad sustantiva.

Hay muchas razones para que los organismos viales, ingenieros y expertos sólo dirijan su atención a las medidas de seguridad nominal: no tienen conocimiento, formación, experiencia o datos para aplicar medidas de seguridad sustantiva fuera de los dominios de diseño de la norma; requiere menor esfuerzo y tiempo; garantiza inmunidad ante eventuales demandas (suele ser una prioridad). Es un concepto absoluto: Sí o No se cumpla la norma, el camino es Seguro o Inseguro. No hay matices ni grises. Es un concepto limitado que no expresa el nivel de seguridad real o previsible de un camino, aunque hay dos aspectos que deben preservarse: los diseños según las normas permiten a los usuarios comportarse legalmente y no deberían originar situacio-

nes que los usuarios no puedan enfrentar.

Al diseñar o revisar la seguridad vial, el respeto de un conjunto de normas es obligatorio, loable y conveniente, pero insuficiente para garantizar un mayor nivel de seguridad: sólo el punto de partida. Si una norma tiene más de cuarenta años, más que exceptuarla sistemáticamente, corresponde actualizarla.

Al conductor foráneo y ocupantes de un vehículo accidentado por un despiste en una curva no le importa que la curva responda a lo indicado en la norma; su atención se centra en que está herido, el auto dañado y que los servicios de emergencia se demoran en llegar.

Pero pondrá el grito en el cielo al enterarse por el comentario de un vecino “con mucha frecuencia ocurren accidentes en esta curva”. Luego, producida la demanda por responsabilidad civil y negligencia, el resultado queda abierto a la formación técnica del juez.

Necesariamente, las normas dan condiciones mínimas típicas y generales; no pueden incorporar las condiciones específicas de todos los lugares del camino: urbana rural, topografía llana/ondulada/montañosa, etc. Por ello, según las condiciones específicas del lugar, el no cumplimiento de las dimensiones y condiciones de operación indicada por la norma no significa que automáticamente haya problemas de seguridad sustantiva.

Al determinar los factores causales asociados con un accidente específico, el diseño del camino podría sustentarse en criterios diferentes (por definición: *excepciones de diseño*) de las establecidas en las normas. El proyectista debe evaluar:

- Capacidad de elusión del peligro. Situaciones en las que un usuario prudente tenga distancia visual y tiempo para advertir el conflicto adelante y eludir la colisión, a pesar de las deficiencias asociadas con el diseño del lugar.
- Conocimiento de las autoridades viales, y respuesta planificada o concreta a un riesgo o deficiencia específica;
- Eventual demanda por aplicar incorrectamente una norma, o sin una consideración explícita de sus implicaciones para la seguridad. De nuevo, según la interpretación del juez, el seguimiento ciego de una acusación o defensa ba-

sada en el *cumplimiento* de una norma puede no ser una buena defensa legal. Depende caso-por-caso.

Hasta la destrucción del mito por parte de Hauer^{3,3}, no todos estaban convencidos de lo obvio: *el camino perfectamente seguro no existe*. Evitar todos los accidentes es imposible; los conflictos son un subproducto negativo de la movilidad, algunos de los cuales resultan en accidentes.^{7,1,7,2}

Las expresiones clave aplicables son *camino razonablemente seguro, camino más o menos seguro*. Se necesita un claro entendimiento del comportamiento esperado a la seguridad y la relatividad de la seguridad para evaluar correctamente un accidente específico en un camino existente o un accidente hipotético en un proyecto vial. El análisis de la Ingeniería de Seguridad Vial sustantiva debe tener en cuenta varias cuestiones:

- Conocimiento factual del organismo vial sobre el tema Ingeniería de Seguridad Vial.
- Estrategias oficiales para identificar, programar y financiar mejoramientos de la SV.
- Conocimiento de lugares específicos para priorizar dónde instalar o tratar sistémicamente con efectividad de costo las contramedidas eficientes de acción remediadora.

Sin tales prevenciones, las *‘contramedidas remediadoras’* aplicadas pueden tener un efecto negativo sobre la seguridad; p.ej., dispositivos longitudinales de contención mal instalados, uso de señales chebrón como advertencia de obstáculos laterales fijos.

De contar con registros de accidentes confiables, lo mejor para revisar la seguridad sustantiva de los caminos existentes es comparar el comportamiento real a la seguridad de un camino, con el comportamiento esperado para ese tipo de establecimiento, concepto en el que se basan los *Factores de Modificación de Accidentes CMF (= AMF)* y sus aplicaciones en el recién publicado *Manual de Seguridad Vial (HSM)* de AASHTO 2010^{5,1}. Se deben considerar la frecuencia y tipos de accidentes ocurridos en un lugar específico, y por qué algunos tipos están sobre-representados. Con más y nuevos avances en las investigaciones y herramientas disponibles, será cada vez

más difícil para los ingenieros viales alegar ignorancia de la *Seguridad Vial Sustantiva* al diseñar sus caminos.

Desde las comprobaciones de Palazzo, Stonex, Xumini, Díaz Pineda, Hauer, no debiera perderse más tiempo en discusiones bizantinas, y aceptar que la *contribución de los factores humanos* en la seguridad sustantiva diaria se aplica tanto a conductores con experiencia, capaces y alertas, y a quienes carecen de tales atributos; y que el camino frecuentemente contribuye al acometimiento de tales ‘errores humanos’.

A modo de muestra, el error humano puede ser inducido por:

- Falta de coordinación planialtimétrica, con ocultamiento o ilusiones ópticas engañosas del alineamiento adelante;
- Curvas de transición o compuestas, excesivamente largas;
- Inesperados dispositivos de control de tránsito;
- Mala identificación de interfaces rural/urbano, camino/intersección, caídas de carril;
- Malas condiciones de iluminación ambiental que distraen al conductor, impiden la visibilidad u ocultan peligros potenciales.

Al diseñar un camino nuevo o remodelar uno existente, los efectos de los *factores humanos y orientación positiva* tienen que comprenderse plenamente e integrarlos en el proceso de análisis y decisión.

3.2. Comparación de seguridad nominal y sustantiva

Es claro que el comportamiento de la seguridad sustantiva no siempre (o casi nunca según el caso) se corresponda directamente con su nivel de seguridad nominal. Hay muchas razones para esta divergencia, comenzando en que los criterios se basan en muchos factores (la seguridad es uno) y que se derivan de la simplificación de modelos estadísticos y suposiciones ampliamente aplicadas.

Al aplicar totalmente a un proyecto las normas y criterios de diseño de las características visibles, generalmente se presume que se obtendrá un diseño aceptablemente seguro, a corto y largo plazo. En la experiencia real, el nivel de rendimiento variará

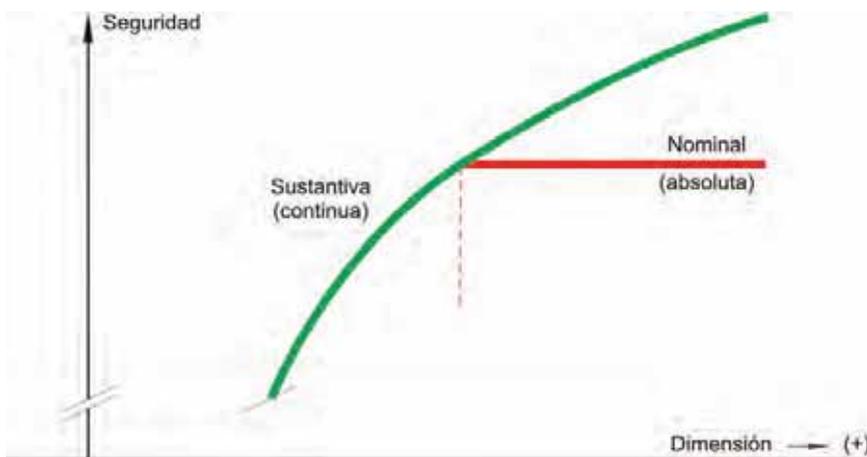


Figura 2. Seguridad sustantiva (continua) y seguridad nominal (absoluta).

en función del tipo de camino, contexto y actualidad de la norma. Al enfrentar la decisión de incorporar excepciones de diseño, el proyectista debe reflexionar sobre la medida de la influencia de la excepción sobre la seguridad sustantiva (frecuencia, tipo y gravedad de los accidentes). Debe averiguar: niveles de seguridad sustantiva actuales y previstos a largo plazo, previstas diferencias de seguridad sustantiva debidas a la excepción. Por *definición*, los lugares con excepciones de diseño son nominalmente inseguros, dado que uno o más elementos de diseño no cumplen los criterios mínimos. Con normas actualizadas, esto no significa que el camino no operará en un nivel aceptable de seguridad sustantiva.

Por el contrario, si la norma tiene más de 43 años como la de la DNV, los efectos de una excepción *muy probablemente* mejoren la seguridad sustantiva; explicable paradoja en razón de la antigüedad de la norma y tipo de excepción; p.ej., si la excepción consiste en no aplicar la Tabla N° 9 de Curvas Verticales Convexas, cuyas hipótesis de cálculo el conocimiento factual posterior comprobó ser incorrectas⁹. Si la excepción consiste en no aplicar la ilegal¹⁰, inconsulta (Seguridad vial) y aún vigente Resolución N° 0254/97 de la DNV: B) ESTACIONES DE SERVICIO A UBICAR ENTRE LAS DOS CALZADAS DE LA AUTOPISTA, C) ESTACIONES DE SERVICIO A UBICAR EN LA ZONA DE CAMINO ENTRE LA CALZADA Y LA COLECTORA⁹, la probabilidad de alto mejoramiento de la seguridad sustantiva se convierte en certeza. El objetivo debería ser entender los efectos cuantificables esperados sobre la seguridad

sustantiva de una decisión de diseño nominalmente insegura.

En la *figura 2* (adaptada del *NCHRP 480, TRB 2002*) se comparan los conceptos de la seguridad nominal y sustantiva con respecto a sus modelos de riesgo de accidentes. Similar a la figura 1 que ilustra el *dominio de diseño*, el eje de abscisas representa hacia la derecha mayor dimensión de una característica o elemento de diseño geométrico (distancia visual, ancho de carril y banquina, ancho de puente, radios de curva...).

La flecha vertical hacia arriba indica mayor seguridad sustantiva (menor frecuencia y gravedad de accidentes); es una escala conceptual, sin cero definido, pero cuyo nivel inferior sería el que la comunidad de usuarios y sociedad en general consideran como *soportable*. Por debajo está la zona de *inseguridad* insoportable.

Dentro del gráfico, la *variación continua* de la línea verde representa las relaciones entre las dimensiones de elementos del camino (en un ambiente influido por el tránsito, conductores y otros factores) y la seguridad sustantiva. La curvatura de la línea representa un caso común de rendimientos decrecientes; que en algunos casos puede tener forma \cap , como es el caso del ancho de carril, con máximo entre 3,3 y 3,6 m.

Esquemáticamente, la línea roja muestra una recta horizontal que hacia la derecha mide la seguridad nominal *absoluta* (Sí); hacia la izquierda, ninguna seguridad (No).

Los proyectistas debieran tener conocimiento, datos y herramientas que les permitan establecer la variación de la seguridad

sustantiva resultante de una decisión de diseño prevista. Esto deslinda lo aceptable de lo inaceptable, y conduce a investigar *medidas de mitigación* para hacer frente a los impactos adversos potenciales de seguridad de una excepción de diseño. El cumplimiento de la norma de diseño es muy importante, como también lo es la actualización periódica de la norma, en sintonía con la propia experiencia y con los avances alcanzados en el conocimiento factual de la seguridad vial.

Los problemas de seguridad sustantiva u operación de tránsito son menos frecuentes si se cumplen actualizados criterios y normas de diseño (seguridad nominal).

4. Medición de las seguridades nominal y sustantiva

4.1. La seguridad nominal

Conceptualmente, determinar los niveles de *seguridad nominal* de un camino existente o proyecto vial es tarea sencilla; basta revisar si las características y elementos geométricos existentes o proyectados cumplen los valores indicados en las normas.

4.2. La seguridad nominal y el IHSDM



El IHSDM^{6,2,12} tiene el módulo *Revisión de Norma* para revisar y analizar la *seguridad nominal*; controla si los elementos de diseño geométrico cumplen los criterios y normas de diseño. Puede proporcionar una evaluación inicial de cómo el diseño geométrico de un camino existente se compara con los actuales criterios de diseño. El módulo puede utilizarse en todo el proceso de diseño.

La seguridad sustantiva. *Se mide por la frecuencia y gravedad de los accidentes ocurridos, o accidentes previstos según métodos de predicción y herramientas de software. En ambos casos es esencial una completa base de datos locales de registros de accidentes, tránsito, y manejo de técnicas estadísticas.*

4.3. La seguridad sustantiva y el IHSDM

El módulo *Coherencia de Diseño* diagnostica problemas de seguridad en el alineamiento horizontal al indicar en un *perfil de velocidad* los saltos de la velocidad de operación del 85° percentil, VO85, estimada en los distintos elementos del alineamiento (recta, transición, curva circular) y en las interfaces de distintos elementos (recta-curva) y dentro de ellos (centro de curva y de recta), los cuales se correlacionan con las expectativas de los conductores y con la concentración de accidentes. Evaluar la coherencia de diseño da claves valiosas para diagnosticar posibles problemas de seguridad sustantiva en caminos existentes, y proyectos durante las etapas de diseño preliminar y final.

El módulo *Predicción de Accidentes* predice la frecuencia y gravedad de los accidentes viales, sobre la base del diseño geométrico y características del tránsito. Puede identificar posibles proyectos de mejoramiento de los caminos existentes, comparar el rendimiento de la seguridad relativa de opciones de diseño y evaluar la efectividad de costo de las decisiones de diseño relacionadas con la seguridad.

El módulo *Revisión de Intersección* evalúa la geometría de una intersección existente o diseño propuesto para identificar posibles problemas de seguridad y sugerir posibles tratamientos de mitigación.

4.4. Factores de Modificación de Accidentes, CMF.

Representan el cambio relativo en la frecuencia de accidentes debido al cambio en una condición específica, cuando todas las otras condiciones y características del lugar permanecen constantes. Es la relación de la frecuencia de accidentes en un mismo lugar bajo dos condiciones:

$CMF = \text{Frecuencia de Accidentes Condición } b / \text{Frecuencia de Accidentes Condición } a (1)$

Un Factor de Modificación de Accidentes *CMF* sirve como estimador del efecto de una característica de diseño geométrico particular o de control de tránsito o de la

efectividad de un tratamiento o condición particular.

4.5. Manual de Seguridad Vial (HSM)^{5,1}

El HSM reúne las mejores herramientas actuales de análisis, lo cual produce estimaciones más fiables del rendimiento de seguridad para los tomadores de decisiones; esto debería dar lugar a inversiones de seguridad con mayor efectividad de costo, cuyo resultado es más vidas salvadas y daños evitados por cada peso invertido, objetivo fundamental de la ingeniería de SV.

Fuera de los EUA y Canadá, el HSM se debe aplicar con precaución. Los modelos y resultados de la investigación que presenta el documento pueden no ser aplicables en otros países; por ejemplo los sistemas de caminos, instrucción y comportamiento de conductores, frecuencias de accidentes y los patrones de la gravedad pueden ser muy diferentes. Las técnicas presentadas en el HSM deben calibrarse bien.

5. Inseguridad sustantiva sostenible

5.1. General

El listado del HSM, resultante de la selección por parte de un comité de expertos incluye valores de *CMF* para situaciones habituales de riesgosos elementos viales sobre los cuales el proyectista necesita fiables herramientas, al tener que elegir las opciones de mejor efectividad de costo, acordes con los fondos disponibles.

No hay CMF para comparar acciones ilegales o medidas muy por debajo de las normas (ultra-excepciones de diseño), que aumentan el riesgo en grado superlativo.

La zona gris indefinida que limita la Seguridad de la Inseguridad es aledaña al nivel de seguridad sustantiva que la comunidad de usuarios viales y la sociedad toda considera como *tolerable*, nivel que correspondería a los objetivos de los planes estratégicos oficiales; por ejemplo, reducir en 5 años al 40% (60% de reducción) la frecuencia y gravedad actual de los accidentes viales debidos a problemas de Ingeniería,

Educación y Control. Suponiendo una razonable repartición tripartita correspondería una reducción del 20% para los accidentes debidos al camino; en la Argentina, de 8 000 a 6 400 muertos anuales. Es razonable pretender un plan de acción inmediato para corregir las situaciones más anómalas y peligrosas, las cuales se denunciaron en varios trabajos anteriores.^{11,1,12,2,13,2,14,1,14,3} En la tabla *Top-10* se listan con objetividad –basada en la observación, lectura de diarios y en la poca información sobre los registros de accidentes en la Argentina– las situaciones más atentatorias en contra de la seguridad sustantiva. Los probables motivos causantes pueden clasificarse en orden de gravedad:

Ignorancia – Desactualización – Negligencia – Necedad – Contumacia – Delincuencia

DESINTERÉS POR LA VIDA AJENA

Las responsabilidades van desde civiles a penales, correspondientes al área de la Salud Pública. El producto resultante es la *Inseguridad de Ingeniería Vial Sustantiva Sostenible* (más muertos, más heridos, más daños materiales, durante más tiempo).

6. Conclusiones y recomendaciones ^{Ídem + 15, 16, 17, 18, 19}

“No hay sino un medio de evitar accidentes en los caminos, es hacer que sean improbables... para los hombres tal cual son...” Pascual Palazzo

En el campo vial internacional se advierte una promisorio tendencia para proveer a los ingenieros viales planificadores, proyectistas y constructores de *herramientas* basadas en el conocimiento factual, para facilitar la toma de decisiones al tener que optar por las medidas de seguridad de mayor efectividad de costo. Los resultados más promisorios de las investigaciones para *medir* las relaciones diseño-seguridad-economía son el programa IHSDM, el desarrollado concepto de Factores de Modificación de Accidentes, y la aplicación del Manual de Diseño Vial (HSM) de AASHTO. La sociedad reclama soluciones al flagelo de los accidentes y la Ingeniería vial tiene un papel importante para satisfacer el reclamo. Primero, formar desde los cursos de grado a los futuros ingenieros con incum-

bencia en el campo vial sobre los criterios, procedimientos, reglas, conceptos que hayan demostrado ser exitosos en su aplicación al bajar sustancialmente en los países desarrollados la frecuencia y gravedad de

los accidentes, y el valor de los daños a la propiedad. Las facultades de ingeniería y los organismos viales tendrían que ponerse a la cabeza para iniciar en la Argentina una tendencia similar. Una forma sería contra-

tar profesores extranjeros profundamente al tanto de la teoría y práctica de los conocimientos racionales de la seguridad vial para dar cursos de capacitación, y formar a los futuros profesores locales, ingenieros,

Top-10 peligros en sentido creciente de frecuencia y gravedad^{10,12,13,14}

Descripción Inseguridad	Ejemplos ilustrativos	Notas
<p>10. Señalización equívoca</p>  <p>+ CHOQUES</p>	 <p>Fuente fotos 2, 3, 4: Ing. Mario J. Venezia XV CAVyT. <i>Prácticas inadecuadas en la Señalización de Calles y Caminos</i></p>	<p>Uso inapropiado de las señales de curva peligrosa a la izquierda (chebrón) como señalización de obstáculo fijo peligroso, para colmo en curva a la derecha.</p> <p>Inversamente, señal de objeto peligroso usado como señal de curva peligrosa.</p> <p>Señalización de doble carril con sentido 'a la inglesa' (por la izquierda), como en nuestras Islas Malvinas.</p> <p>Peligrosa señalización de curva a la izquierda con señal de curva a la derecha.</p> <p>Mezcla de ignorancia y negligencia.</p>
<p>9. Barreras peligrosas</p>  <p>+ CHOQUES</p>		<p>La combinación barrera + cordón es peligrosa cuando la cara del cordón sobresale la vertical por la cara de la barrera.</p> <p>Todas las barreras son peligrosas. Sólo deben instalarse cuando, agotados todos los otros cursos posibles de acción respecto del peligro (quitar, modificar, alejar), resulta que el peligro de la barrera es menor que el del objeto fijo o condición peligrosa</p>
<p>8. Desconexión barreras</p>  <p>+ CHOQUES</p>		<p>La falta de transición geométrica y estructural entre barreras de diferente tipo, forma y rigidez es causa frecuente del <i>embolsamiento</i> del vehículo lateralmente desviado, que es guiado a chocar frontalmente contra la barrera de mayor rigidez; peligro frecuente en las aproximaciones a los puentes. En comparación con el costo de las barreras y el ahorro en vidas, la adecuada transición geométrica y estructural y la vinculación física entre los elementos terminales de barreras cuesta moneditas.</p> <p>Ignorancia y desactualización de conocimientos del proyectista y constructor.</p>

<p>7. Caída borde de Pavimento</p>  <p>+ CHOQUES</p>	 	<p>La temible caída del borde de pavimento¹³, frecuentemente debida a falta de mantenimiento adecuado; o por contratar un recapado del pavimento de calzada sin incluir la adecuación de la banquina al nuevo nivel altimétrico.</p> <p>Negligencia.</p>
<p>6. Ancho reducido de puente/alcantarilla</p>  <p>+ CHOQUES</p>	 	<p>Los puentes angostos en caminos arteriales responden a una falsa economía; el puente es más barato de construir para el organismo vial, pero los costos en muertos, heridos y daños materiales para la sociedad son mucho mayores.</p>
<p>5. Barrera/Barricada</p>  <p>+ CHOQUES</p>	 	<p>En los caminos argentinos, la medida de seguridad vial <u>sin costo</u> y con <u>mayor beneficio</u> para el usuario es no llenar de ferretería inútil los costados de la calzada, como son las barreras usadas como barricadas. Y será de <u>bajo costo</u> y similar <u>alto beneficio</u> retirar la ferretería inútil y altamente peligrosa.</p>
<p>4. Zona despejada angosta</p>  <p>+ CHOQUES</p>	   	<p>Es inadmisibles extender lateralmente una estación de peaje de rama a expensas de la esencial banquina derecha, cualquiera que sea el tipo de camino.</p> <p>El ancho de mediana de las autopistas y autovías se diseña según datos estadísticos en función del TMDA, para disminuir los accidentes frontales contra el tránsito de sentido opuesto. Es un desatino proveer una medida de seguridad como es la iluminación nocturna al ubicar los postes en la mediana y agregarles una barrera adelante, reduciendo más la zona de recuperación.</p> <p>Con los teléfonos SOS se invade alevosamente lo que de otra forma sería una ancha zona despejada.</p>
<p>3. Autopista/Autovía con Intersecciones a nivel</p>  <p>+ CHOQUES</p>	 	<p>La primera condición de una autopista es la separación física de ambas calzadas, de distinto sentido de tránsito. Las siguientes condiciones son las intersecciones a diferente nivel con caminos y ferrocarriles, y el control total de acceso (acceso solamente por los distribuidores). La Ley 24449¹⁰ y las normas definen lo que es física y operacionalmente una autopista; el incumplimiento es delito.</p>

<p>2. Actividad comercial privada en zona de camino. Intrusos</p>  <p>+ CHOQUES</p>		<p>La Ley 24449¹⁰ prohíbe usar la zona de camino con fines comerciales e instalar avisos publicitarios en zona privada destinados a ser vistos por los usuarios viales.</p> <p>Con el pretexto de solventar la copa de leche para los colegios vecinos, se alquilan las banquinas de caminos rurales para sembrar soja.</p> <p>Estación de servicio en la mediana, comercios bajo viaductos, paseo de compras en banquina.</p> <p>Preferencia de los intereses particulares sobre los generales de la sociedad. Delito, necesidad y contumacia.</p>
<p>1. VD/VM = 90-110/130</p>  <p>+ CHOQUES</p>	 <p>1995¹²</p> <p>2010¹⁴</p>	<p>La inconsulta decisión burocrática, ilegal y antisocial, atentatoria de la salud pública, de elevar el límite máximo de velocidad (por definición la informada como máxima más segura al usuario), entre 40 y 20 km/h por arriba de la velocidad directriz es la más inconcebible, deletérea, letal y criminal en la historia de la vialidad argentina, dispuesta con el manifiesto propósito de favorecer intereses privados (principalmente emprendimientos inmobiliarios) en contra de los intereses generales. Después de 15 años todavía se sigue dando gato por liebre como resultado de un proceder delictivo con reminiscencia (por sus resultados contra la salud pública) con la mafia de los medicamentos oncológicos truchos.^{12, 14}</p> <p>La comunidad de usuarios reclama seguridad, y los organismos públicos viales tienen la obligación ineludible de velar por la seguridad de sus usuarios, y comenzar a corregir los errores, y no agravarlos día a día.</p>

y estudiantes de los cursos de grado y posgrado. Pero esto no resuelve los problemas inmediatos. Solucionar los más graves y de existencia indiscutible es un reclamo de la comunidad de usuarios y de ingenieros viales comprometidos en mejorar las condiciones de seguridad de nuestros caminos. Para empezar: mediciones de VO85 en flujo libre, registro nacional de accidentes viales, actualización de las normas de diseño, sistema oficial para medir los costos de los

accidentes (muertos, heridos, daños materiales). Pero aún antes –perentoriamente como si se tratara de una emergencia médica– hacer terapia intensiva y poner en acción la materialización de las soluciones que no todos conocen: **ampliar el ancho de zona despejada**, administrar la velocidad y la densidad de los accesos a propiedad, justificar y diseñar adecuadamente las barreras de contención, fresar franjas sonoras de borde de banquina, corregir caídas

de borde de pavimento, delinear y marcar, señalizar, experimentar el camino tricarril; priorizar los distribuidores en los proyectos por etapas de duplicación de calzadas, construir variantes de pasos urbanos, cumplir la Ley.

“El cuidado de la vida y de la felicidad humana... es el primero y único objetivo de un buen gobierno”

Thomas Jefferson^{6.1}



Ramal a Pilar de la Panamericana - Epítome de la Inseguridad Sustantiva Sostenible...
...pero no Sustentable.

7. Bibliografía

1. Glennon. *Roadway Safety (Defects) and Tort Liability*. L & J, 1996.
2. Taragin. 1. *A case for evidence-based road-safety delivery* - AAA Foundation for Traffic Safety, 2007. 2. *The Road Ahead*. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 2005. 3. *La Seguridad de las Normas de Trazado* - Revista Carreteras, julio 2001.
3. Hauer. 1. *A case for evidence-based road-safety delivery* - AAA Foundation for Traffic Safety, 2007. 2. *The Road Ahead*. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 2005. 3. *La Seguridad de las Normas de Trazado* - Revista Carreteras, julio 2001.
4. Stonex. *Roadside Design for Safety*. HRB Proceedings, Vol. 33, 1960.
5. AASHTO. 1. *Highway Safety Manual*, 2010. 2. *Driving Down Lane-Departure Crashes: a National Priority*, 2008. 3. *Roadside Design Guide*, 2006. 4. *A Guide for Achieving Flexibility in Highway Design*, 2004. 5. *Highway Safety Design and Operations Guide*, 1997 (Yellow Book).
6. FHWA. 1. *Incorporating Safety into Design*. Presentación ppt Roche, Iowa Division, 2009. www.ctre.iastate.edu 2. *Interactive Highway Safety Design Model*. (IHSDM), 1995-2010. 3. *Flexibility in Highway Design*. 2005.
7. Xumini. 1. *La seguridad de los caminos*. Revista Carreteras AAC, Nº 189, 2008. 2. *Lo que es riesgo y seguridad en el sistema viario*. Premios AIPCR 2007.
8. ITE. 1. *The Traffic Safety Toolbox*. (Overview, Hauer), 1999. 2. *Traffic Calming - State of the Practice*. Reid Ewing. ITE - FHWA, 1999.
9. DNV. *Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial*. Informe Final - Actualización 2010.
10. LEY 24449 RA, 1995. Título IV *La Vía Pública*; Art. 21 *Estructura Vial*; Art. 23 *Obstáculos*; Art. 25 *Restricciones al Dominio*; Art. 26 *Publicidad en la Vía Pública*; Art. 27 *Construcciones Permanentes o Transitorias en Zona de Camino*.
11. ANI. 1. *Peligros en la Calzada y Costados del Camino*. Conferencia Sierra 7.10.99. Resumen: Revista Carreteras AAC Nº 161, agosto 2000. 2. *Los Defectos Viales y sus Probables Consecuencias*. Exposición Sierra Sección Ingeniería, 6.10.08 - Anales Tomo IV, 2008.
12. XIII CAVyT 2001. 1. *Seguridad y Capacidad de las Rotondas Modernas*. Monografía Sierra - Outes; Premio Ingeniero Enrique Humet. 2. *La Seguridad Vial y las Velocidades Máximas Señalizadas en las Autopistas* - Monografía Sierra; Mención Especial. 3. *La Coherencia de Diseño y un Modelo Interactivo para Diseñar Caminos más Seguros*. Monografía Sierra.
13. XIII CAVyT 2005. 1. *Apaciguamiento de Tránsito: desde los lomos de burro hasta las rotondas modernas*. Monografía Sierra - Outes. 2. *La Temible Caída del Borde de Pavimento*. Monografía Sierra.
14. XIII CAVyT 2009. 1. *Ironías Sinietras en Nuestros Caminos y Temas Conexos* - Monografía Sierra, Outes, Fissore. 2. *El Concepto y Causa y Sistema en Accidentología e Ingeniería del Transporte*. Monografía Xumini. 3. *Prácticas Inadecuadas en la Señalización de Calles y Caminos*. Monografía Venezia.
15. TRB. 1. *Special Report 214: Designing Safer Roads*. 2009. 2. *NCHRP 374 Effect of Highway Standards on Safety*. 1995.
16. AIPCR-PIARC. *Road Safety Manual*. 2005.
17. PEO Canadá. *Report of the Highway 407 Safety Review Committee*. 1997.
18. Ogden. *Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering*. Monash University - Australia, 1995. Avebury Technical 1996.
19. Leisch. 1. *New Concepts in Design-Speed Application*. TRB TRR 631, 1977. Traducción Ing. Cecilia Siquot Instituto de Transporte UNRosario. 2. *Dynamic Design for Safety*. FHWA-ITE, 1974.

Abreviaturas, acrónimos, siglas.

AAC: Asociación Argentina de Carreteras; AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials; ANI: Academia Nacional de Ingeniería; RA; ASCE: American Society of Civil Engineers; CAVyT Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito; DNV: Dirección Nacional de Vialidad; RA; FHWA: Federal Highway Administration; HRB: Highway Research Board; HSM: Highway Safety Manual; IHSDM: Interactive Highway Safety Design Model; ITE: Institute of Transportation Engineers; PEO: Professional Engineers Ontario; RTAC: Roads and Transportation Association of Canada; TRB: Transportation Research Board. ❖

ICSM: Un procedimiento de clasificación de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras



REDACTADO POR:

José M^a Pardillo Mayora
*Dr. Ingeniero de Caminos
Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid*

Rafael Jurado Piña
*Dr. Ingeniero de Caminos
Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid*

Carlos A. Domínguez Lira
*Ingeniero Civil
Doctorando en la
Universidad Politécnica de Madrid*

PRÓLOGO POR:

Roberto Llamas Rubio
*Presidente del Comité Técnico de
Seguridad Vial de la Asociación
Técnica de Carreteras (ATC)*

Prólogo

Los accidentes por salida de la vía constituyen la tipología más frecuente entre los siniestros de tráfico en carreteras interurbanas y, también, generalmente, uno de los que peores consecuencias conllevan. Existen diversos factores que incrementan la gravedad de las consecuencias de los mismos, y entre ellos figura la configuración de las márgenes, aspecto éste cuya consideración cada vez ha ido adquiriendo mayor relevancia a la hora de diseñar y proyectar las carreteras o sus equipamientos.

La actual normativa para la construcción de nuevas carreteras ya considera este aspecto como un elemento fundamental a la hora del diseño de la sección transversal, como medio para prevenir este tipo de accidentes. No obstante, las limitaciones físicas y presupuestarias hacen que no siempre se puedan disponer las secciones

más deseables. Así mismo, existen muchas carreteras de la red nacional con unas condiciones de las márgenes que requieren un adecuado tratamiento de las mismas y que deben ser acondicionadas progresivamente en función de las disponibilidades económicas, mediante actuaciones preventivas de seguridad vial. No hay que olvidar que uno de los objetivos de este tipo de medidas sobre la infraestructuras es la de proporcionar al conductor medios para la recuperación del control del vehículo cuando éste lo ha perdido al salirse de la calzada.

La instalación de barreras de seguridad y la eliminación de los obstáculos próximos a la calzada son de las medidas adoptadas más habituales y eficaces, junto con el suavizado de los taludes de las márgenes. Sin embargo, este último tipo de actuación, según los casos, conlleva un elevado coste, especialmente en zonas con una orografía complicada. Por tanto, es necesario maximizar la inversión en estas actividades, por lo que debemos disponer de unos criterios

técnicos rigurosos que nos permitan caracterizar las márgenes y las posibles consecuencias de los accidentes.

Dentro de este contexto se enmarca el presente artículo, presentado por los autores al Comité de Seguridad Vial de la ATC, y que es resultado de un proyecto de investigación realizado por el Departamento de Ingeniería Civil y Transportes de la Universidad Politécnica de Madrid, financiado por el CEDEX del Ministerio de Fomento dentro del programa de I+D+i de desarrollo del PEIT.

En él se resumen los antecedentes internacionales de investigaciones en este campo, planteamientos llevados a cabo a la hora de analizar el efecto de las condiciones de la carretera y de sus márgenes en la frecuencia y la gravedad de los accidentes por salida de la calzada, para pasar seguidamente a detallarnos el procedimiento que han establecido para la clasificación de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras.

Dicho procedimiento permite, mediante una serie de indicadores de las características de la vía y su entorno, definidos y ponderados convenientemente, obtener un único índice global (denominado ICSM) con el que caracterizar las condiciones relativas a la seguridad de la circulación de las márgenes de las carreteras, habiéndose establecido cinco categorías para ello. Se ha calibrado el método, evaluando el nivel de confianza estadístico de la clasificación realizada en base a una muestra de datos facilitados por la DGC del M^º de Fomento y de la Junta de Extremadura. Finalmente se exponen algunas recomendaciones prácticas obtenidas de esta investigación realizada.

Además de la contribución que esta investigación realiza al campo de la mejora de la seguridad vial, propicia nuevos caminos de exploración en el desarrollo de modelos de predicción de la accidentalidad por salida de la calzada más precisos. Así que animo a los investigadores a recoger este testigo y seguir avanzando en esta nueva ruta.

Por último, y como Presidente del citado Comité, quisiera dejar constancia de mi agradecimiento a los autores del presente artículo, por haberlo sometido al análisis del Comité que presido y darles la enho-



Figura 1. Accidente por salida de calzada.

rabuena por el trabajo realizado, que estoy seguro que ayudará a fomentar la caracterización de las márgenes de la vía dentro del sistema de gestión de la seguridad de las infraestructuras y, en consecuencia, tenerla en cuenta a la hora de establecer las prioridades de ejecución de actuaciones preventivas.

Resumen

En el marco del proyecto de investigación DISCAM desarrollado en el Departamento de Ingeniería Civil - Transportes de la Universidad Politécnica de Madrid, se ha establecido un procedimiento de clasificación de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras. La investigación se ha apoyado en una serie de indicadores de las principales condiciones de la infraestructura y de su entorno físico que influyen en las consecuencias de los accidentes por salida de la calzada: pendiente transversal de la margen, distancia al borde de la calzada de los obstáculos rígidos, existencia y adecuación de las barreras de seguridad y condiciones del trazado. Con el fin de identificar las combinaciones de los valores de estos indicadores, que presentan valores homogéneos de los índices de frecuencia y gravedad de los accidentes con víctimas por salida de la calzada, se analizó una muestra de 1 956 km de carreteras convencionales. Como resultado se estableció una escala categórica de cinco niveles a la que se ha denominado Índice de Condiciones de Seguridad

de las Márgenes (ICSM). El ICSM permite sistematizar la toma de datos relacionados con la seguridad de las márgenes de las carreteras y puede introducirse como variable explicativa en los modelos de regresión multivariante de estimación de la frecuencia de accidentes. También puede utilizarse como referencia en la planificación de las medidas de mejora de la seguridad vial.

PALABRAS CLAVE: Seguridad vial, márgenes, salidas de la calzada.

Introducción

Los accidentes por salida de la calzada se producen cuando un vehículo sale sin control de la carretera, invade las márgenes y vuelca o colisiona con un obstáculo rígido o con el terreno. Según los datos de la Dirección General de Tráfico, los accidentes por salida de la calzada originaron el 40,9% del total de accidentes mortales en las carreteras interurbanas españolas en 2008. Esta elevada proporción se ha mantenido casi constante a lo largo de los años, por lo que las medidas destinadas a limitar la frecuencia y la gravedad de este tipo de accidentes son un elemento clave de los programas de mejora de la seguridad de las infraestructuras viarias.

Las primeras investigaciones rigurosas sobre la influencia en la seguridad de la circulación de las condiciones de las márgenes de las carreteras se remontan a 1960. Stonex (1960) identificó en sus estudios algunos de los factores que incrementan la gravedad de los accidentes por salida de la

calzada: la presencia de obstáculos rígidos cercanos al borde de la vía, la existencia de cunetas profundas, la inclinación transversal de las márgenes o la configuración inadecuada de los terminales de las barreras de seguridad. En esta época se publicaron en Estados Unidos las primeras normas de ensayo y de instalación de barreras de seguridad y la primera edición de las Recomendaciones de Proyecto y Explotación de Carreteras centradas en la Seguridad Vial (*Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety*, AASHTO 1966). En ellas se introdujo por primera vez el concepto de la zona libre de obstáculos o zona de seguridad, que se definió como una franja de 9 metros de anchura situada a cada lado de la calzada que debía mantenerse libre de obstáculos no franqueables y presentar una pendiente transversal poco pronunciada para propiciar la recuperación del control de los vehículos que se saliesen de la calzada. Esta definición estaba basada en una serie de estudios realizados por la AASHTO en los que se había llegado a la conclusión de que una zona con estas condiciones permitiría recuperar el control al menos al 80% de los vehículos que sufriesen salidas de la vía.

En los años 70 se perfeccionaron los procedimientos de ensayo e instalación de los sistemas de contención y se desarrollaron nuevos dispositivos de contención de vehículos, incluyendo nuevos modelos de terminales de las barreras de seguridad. Así mismo se avanzó en los métodos de programación y evaluación de las medidas de mejora de la seguridad que fueron recogidos en las nuevas ediciones de los Manuales antes mencionados. En la edición de 1977 de la Guía de diseño de barreras de seguridad (*Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers*, AASHTO) se modificó la definición de la zona libre de obstáculos, cuya anchura dejó de ser fija y pasó a depender de una serie de variables características de la carretera y del tráfico.

En España, el CEDEX realizó por encargo de la Dirección General de Carreteras un amplio estudio de las condiciones de uso de los distintos sistemas de contención de vehículos que dio lugar a las Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos, publicadas en 1995.

Antecedentes

Para analizar el efecto de las condiciones de la carretera y de sus márgenes en la frecuencia y la gravedad de los accidentes por salida de la calzada se han seguido dos planteamientos distintos. El primero se basa en el análisis estadístico de los registros de accidentes con técnicas de regresión multivariante. La frecuencia de los accidentes en un tramo de carretera dado se trata como una variable aleatoria discreta con una función de distribución de probabilidad de Poisson. El volumen del tráfico y las características de la carretera (trazado, anchura de la calzada, configuración de las márgenes, etc.) se introducen en los modelos como variables explicativas de la variación de la accidentalidad. Una propiedad importante de la distribución de Poisson es que su desviación típica es igual a su media. La generalización de los modelos Poisson, para admitir la sobredispersión de la distribución de frecuencias de los accidentes que suelen presentarse en el conjunto de los tramos de una red, da como resultado el modelo binomial negativo. En Estados Unidos, Council y Stewart (1996)

y Lee y Mannering (2002) entre otros han utilizado modelos de Poisson y binomial negativos para calibrar modelos de predicción de accidentes por salida de la calzada.

El segundo planteamiento (Mak, 1995) consiste en el ajuste de un sistema de probabilidades condicionadas de la secuencia de sucesos que pueden producirse como consecuencia de la salida de un vehículo sin control de la vía hasta dar lugar a un accidente. En esta línea, la AASHTO desarrolló en Estados Unidos un programa de ordenador denominado *Road Side Analysis Program* (RSAP) basado en un modelo secuencial de este tipo que permite evaluar la rentabilidad de instalar barreras de seguridad en función de las condiciones particulares de cada tramo (Mak *et al.*, 1998).

En todo caso, el elevado coste de obtención y actualización de información detallada de la configuración de las márgenes representa un obstáculo para el desarrollo de modelos detallados de análisis de la relación entre las características de las márgenes y la frecuencia y la gravedad de los accidentes por salida de la calzada (Lee y Mannering, 2002). Por ello, el establecimiento de un procedimiento sistemático

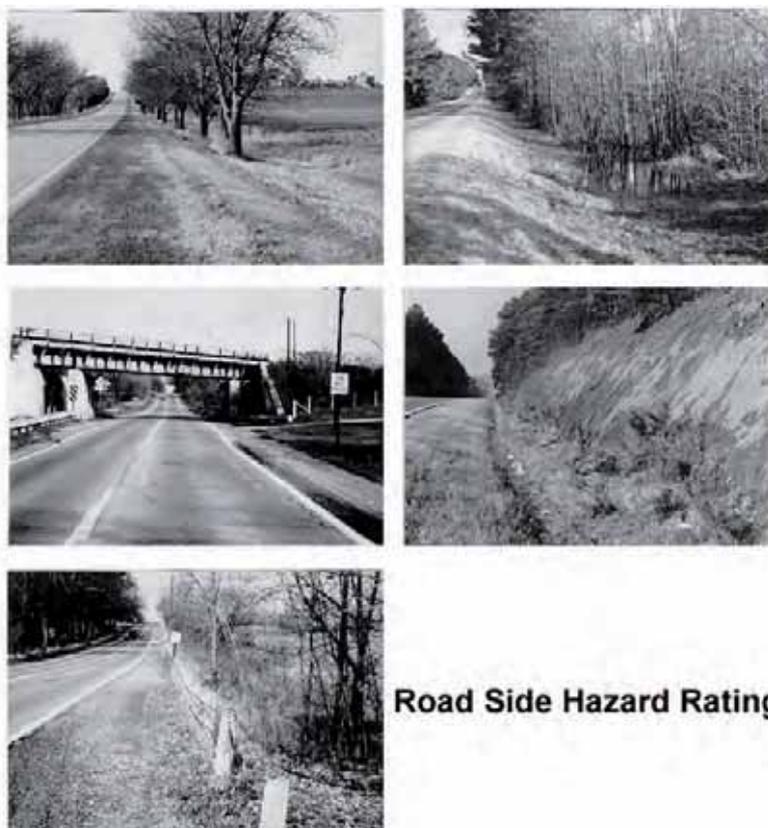


Figura 2. Ejemplo de caracterización gráfica de los niveles del RHR (Fuente: Zegeer *et al.* 1988).

de caracterización de las condiciones de seguridad de las márgenes que facilite la recogida de datos en carretera y su análisis resulta fundamental para propiciar el perfeccionamiento de estos modelos.

Hasta ahora, el principal desarrollo en esta dirección se llevó a cabo en los Estados Unidos por Zegeer *et al.* (1988a, 1988b) en el marco de un amplio estudio financiado por la Administración Federal de Carreteras (FHWA) cuyo objetivo principal era cuantificar los efectos sobre la seguridad de los ensanches de la plataforma y de la pavimentación de arcnas. En el curso de su desarrollo se definió una escala de peligrosidad de las márgenes denominada *Roadside Hazard Rating* (RHR). La escala fue establecida a partir del análisis de los resultados de las investigaciones previas sobre los efectos de la configuración de las márgenes en la seguridad vial y de las conclusiones de un grupo de trabajo en el que participaron trece expertos en seguridad vial. Se emplearon cientos de fotografías con diferentes características de las márgenes. Los participantes debían valorar la situación de las márgenes para cada fotografía en base a tres aspectos diferentes: la influencia de las márgenes en la frecuencia de los accidentes, la influencia en su gravedad y, por último, establecer una escala en la que se combinaran la frecuencia y la gravedad. La escala finalmente establecida clasifica el riesgo asociado a la configuración de las márgenes de la carretera mediante un valor escalar con un rango de uno (correspondiente a una baja probabilidad de colisión o vuelco) a siete (probabilidad elevada de que un accidente origine víctimas mortales o lesiones graves). Cada uno de los niveles está caracterizado gráficamente mediante una serie de imágenes de casos típicos (*figura 2, pág.32*). El RHR ha sido una herramienta útil para superar las dificultades en la evaluación de las condiciones de las márgenes y se utiliza con frecuencia para este propósito en los estudios de seguridad vial en Estados Unidos. Sin embargo, su aplicación práctica se basa, hasta cierto punto, en un juicio subjetivo y por tanto está sujeta a variaciones cuando varían los observadores que toman los datos. Además, la definición de los niveles del RHR carece de una validación explícita que esté basada en una evidencia empírica.

Calibración del ICSM

El proyecto de investigación DISCAM: Herramientas para un Diseño Seguro de la Carretera y sus Márgenes ha sido desarrollado en el Departamento de Ingeniería Civil - Transportes de la Universidad Politécnica de Madrid con una subvención del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento para la realización de proyectos de I+D+i ligados al desarrollo del PEIT.

La investigación llevada a cabo en la Fase 4 del proyecto dio como resultado un procedimiento de categorización de las condiciones de seguridad de las márgenes de las carreteras a partir del análisis de la configuración física y la accidentalidad por salida de la calzada registrada en una muestra de 1 956 km de márgenes de carreteras convencionales españolas de dos carriles (Pardillo *et al.*, 2009). La calibración del ICSM se realizó en cuatro fases:

1. Clasificación sistemática de la configuración de las márgenes mediante indicadores.
2. Obtención de datos en una muestra representativa de las condiciones de las carreteras convencionales españolas.
3. Agrupación de las combinaciones de los cuatro indicadores en categorías homogéneas en cuanto a la frecuencia y la gravedad de los accidentes con víc-

timas por salida de la calzada.

4. Contraste de la significación estadística de las diferencias entre las categorías del ICSM.

Indicadores de las características de las márgenes

El primer paso del estudio consistió en la definición de un conjunto de indicadores para facilitar la caracterización sistemática de las condiciones de las márgenes y que teniendo en cuenta los resultados de investigaciones anteriores influyen en las consecuencias de las salidas de la calzada. Las características consideradas para definir estos indicadores fueron:

- La inclinación transversal de las márgenes.
- La distancia a los obstáculos rígidos existentes en las proximidades de la calzada.
- La posible existencia de barrera de seguridad.
- El trazado de la carretera.

Indicador de inclinación

La pendiente transversal de las márgenes es uno de los factores que influye decisivamente en la frecuencia y la gravedad de los accidentes por salida de la calzada



Figura 3. Indicador de inclinación de márgenes = 4: Inclinación vertical de 1:3 con desnivel de altura superior a 1 m.

de acuerdo con los resultados de investigaciones anteriores. Si la margen de una carretera presenta una inclinación superior a 1V:3H, las posibilidades de recuperación del control del vehículo tras una salida de la calzada son muy reducidas. Al mismo tiempo la probabilidad de que el vehículo vuelque aumenta considerablemente. Así, la Guía de diseño de márgenes de la AASHTO (2002) clasifica las pendientes transversales de 1V:3H como sin posibilidad de recuperación del control, mientras que 1V:4H o más tendidas se clasifican como con posibilidad de recuperación del control, aunque se recomienda que la inclinación no supere una pendiente 1V:6H.

La combinación de la altura de terraplén y su inclinación transversal también influyen en la gravedad de los accidentes. Las Recomendaciones españolas sugieren que los taludes de terraplén con una inclinación superior a 1V:3H y una altura mayor de 3 m sean protegidos con barrera de seguridad.

En la investigación se clasificaron las inclinaciones de las márgenes de las carreteras en cinco categorías cuyos límites se fijaron teniendo en cuenta los valores recomendados en investigaciones internacionales. Las categorías son las siguientes:

- Indicador de inclinación = 1.
 - Inclinación de la margen de 1V:6H o menor. Condiciones ideales para recuperar el control del vehículo.
- Indicador de inclinación = 2.
 - Inclinación de la margen comprendida entre 1V:4H y 1V:6H. Elevada probabilidad de recuperación del control del vehículo.
- Indicador de inclinación = 3.
 - Inclinación de la margen del orden de 1V:3H, con un desnivel no superior a 1 metro. Moderada probabilidad de recuperación del control del vehículo.
- Indicador de inclinación = 4.
 - Inclinación de la margen del orden de 1V:3H, con un desnivel superior a 1 metro. Elevada probabilidad de vuelco del vehículo.
- Indicador de inclinación = 5.
 - Inclinación de la margen del orden de 1V:2H o superior. Nula posibilidad de recuperar el control del vehículo.



Figura 4. Indicador de obstáculos = 1: Obstáculos localizados a más de 10 m del borde de la calzada.

Indicador de distancia a obstáculos

La presencia de obstáculos rígidos y su distancia al borde de la calzada influyen de forma decisiva en las consecuencias de las salidas de la calzada.

Los obstáculos que se presentan en las márgenes de una carretera pueden clasificarse en función su carácter continuo o localizado:

- **Obstáculos continuos.** Son todos aquellos elementos que se encuentran dispuestos a lo largo de las márgenes de la carretera en una longitud prolongada. Entre los obstáculos continuos más comunes se encuentran los siguientes:
 - Cunetas. Las cunetas pueden provocar el vuelco de los vehículos cuando éstos se salen de la calzada y las franquean. Una cuneta reducida, triangular o trapezoidal se suele considerar peligrosa cuando tiene más de 15 cm de profundidad.
 - Desniveles en desmontes y terraplenes.
 - Desniveles verticales. Los puentes, viaductos y obras de paso son elementos de riesgo debido a la potencial gravedad de la caída desde ellos. Estos elementos deben ser protegidos mediante la implantación de pretilas en sus bordes.
 - Pantallas, muros continuos y estructuras similares.
 - Bordillos. Estos elementos pueden provocar la desestabilización de los vehículos e incluso el vuelco de

éstos cuando su altura supera los 10 cm y no presentan un perfil que permita el remonte de la rueda del vehículo.

- **Obstáculos puntuales.** Bajo esta denominación se engloban todos aquellos elementos que se encuentran dispuestos de forma localizada en las márgenes y medianas de las carreteras. La peligrosidad de un objeto rígido está directamente relacionada con su diámetro y su rigidez mecánica. Entre los obstáculos puntuales más comunes se encuentran los siguientes:
 - Árboles.
 - Soportes de luminarias.
 - Postes de servicios.
 - Postes de señales.
 - Edificaciones.
 - Pilas de puentes.
 - Elementos del sistema de drenaje superficial: arquetas, impostas y alcantarillas.
 - Terminales de barreras no adecuados.

La Guía de diseño de márgenes de la AASHTO (2002) recomienda que se dispongan zonas libres de obstáculos con unas anchuras mínimas que dependen de la intensidad de tráfico y la velocidad de circulación, con un rango que abarca desde 2 m para carreteras de baja intensidad hasta 14 m en carreteras de intensidades superiores a 6 000 veh/día y velocidades de 110 km/h.

Los resultados del proyecto de investigación RISER (2005) basados en datos de Francia, EE.UU. y los Países Bajos indican



Figura 5. Indicador de obstáculos = 4: Obstáculos localizados a menos de 3 m del borde de la calzada.

que el riesgo de colisión con un obstáculo disminuye de forma muy acusada a partir de los primeros metros, de forma que la mayoría de los impactos con obstáculos se producen en los primeros 10 m. La mayoría de las zonas de seguridad en Europa se establecen con anchuras de 6 a 10 m para carreteras convencionales con velocidades de proyecto de alrededor de 100 km/h. Las zonas de seguridad son menores para velocidades más bajas, de forma que para carreteras de 80 km/h, el ancho de zona de seguridad se reduce a un rango de 4,5 a 7 m.

En la Red del Estado en España, la instalación de barrera de seguridad está recomendada para proteger los obstáculos rígidos situados a una distancia del borde de la calzada inferior a un determinado valor, que varía desde 4,5 m en carreteras de dos carriles en terreno llano hasta 16 m en el exterior de curvas de carreteras de doble calzada y elevada velocidad de proyecto.

Teniendo en cuenta estas referencias, las categorías consideradas para el indicador de distancia a obstáculos fueron las siguientes:

- Indicador de obstáculos = 1.
 - Obstáculos localizados a más de 10 m desde el borde de la calzada.
- Indicador de obstáculos = 2.

- Obstáculos localizados a una distancia comprendida entre 5 y 10 m desde el borde de la calzada.
- Indicador de obstáculos = 3.
 - Obstáculos localizados a una distancia comprendida entre 3 y 5 m desde el borde de la calzada.
- Indicador de obstáculos = 4.
 - Obstáculos localizados a menos de 3 m desde el borde de la calzada.

Indicador de presencia de barrera de seguridad

Las barreras de seguridad se instalan a lo largo del borde de la calzada para evitar que los vehículos que se salgan sin control de ella colisionen con obstáculos rígidos, vuelquen debido a las pronunciadas pendientes laterales o caigan desde una determinada altura. Las barreras a su vez representan un cierto riesgo, ya que la colisión con ellas puede causar daños al vehículo y sus ocupantes, aunque si el funcionamiento de la barrera es adecuado estos daños son menores que los que se producirían en caso de no estar protegidos los obstáculos. En todo caso, la disposición de barreras es un elemento a tener en cuenta en la caracterización de la seguridad de las márgenes.

En la actualidad, en las carreteras en

servicio existen barreras dispuestas con arreglo a distintos criterios que fueron evolucionando a lo largo de los años hasta la publicación en el año 1995 de las Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos. En la investigación se decidió diferenciar las barreras que no cumplen lo establecido en estas Recomendaciones en cuanto a la longitud o disposición de los terminales de las que sí lo cumplen, de forma que en el posterior análisis se pudiera contrastar si existe diferencia en los resultados de unas y otras. En consecuencia las categorías consideradas para el indicador de presencia de barrera de seguridad fueron las siguientes:

- Indicador de barrera = 1
 - No existe barrera de seguridad.
- Indicador de barrera = 2
 - Existe barrera de seguridad con una disposición ajustada a los criterios establecidos en las Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos.
- Indicador de barrera = 3
 - Sólo existe barrera de seguridad cuya disposición (longitud o disposición de los terminales) no se ajusta a los criterios de las Recomendaciones.

Indicador de trazado

El trazado de la carretera influye tanto en las frecuencias de las salidas de la calzada como en los ángulos de impacto con los eventuales obstáculos (Ray, 1999). Diversas investigaciones (Lee y Mannering, 2002; Pardillo y Llamas, 2003) han encontrado que la frecuencia y la gravedad de los accidentes en curvas son mayores que en rectas. También se ha encontrado que la curvatura, la inclinación de la rasante, la resistencia al deslizamiento y la consistencia del trazado influyen en el grado de peligrosidad de una curva. Dado que el propósito del estudio era desarrollar un método de evaluación fácilmente aplicable, el indicador de trazado se limitó a distinguir las curvas y rectas. El efecto de los parámetros que reflejan con mayor detalle las características del trazado se puede incorporar al análisis por medio de modelos de regresión multivariante.

En consecuencia, se establecieron dos categorías para el indicador de trazado (ALI):

- Indicador de trazado = 1: Recta
- Indicador de trazado = 2: Curva

Obtención de datos

Con el fin de obtener la información necesaria para la calibración del ICSM se llevó a cabo una campaña de toma de datos de la configuración de las márgenes en una



Figura 6. Indicador de barrera = 3: Existencia de barrera cuya disposición no se ajusta a los criterios de las Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos.

Tabla 1. Agrupación de las combinaciones de valores de los indicadores de configuración de las márgenes con índices medios de accidentalidad por salida de la calzada homogéneos.

Grupo	Indicadores				N	Índices de accidentalidad por salida de la calzada	
	Trazado	Pendiente transversal	Distancia a obstáculos	Barrera de seguridad		IFs	IGs
1	1 / 2	1	1	1	153	0,00	0,00
	1 / 2	1	2	1	118	0,21	0,00
2	1	1/2	3	1	463	2,67	0,00
	1	2	1	1	245	2,01	0,32
	1	2	2	1	179	2,30	0,29
	2	1/2	3	1	277	3,37	1,08
	2	2	1/2	1	116	2,12	0,68
	1 / 2	1/2/3/4/5	1/2/3/4	2	776	3,97	0,54
3	1	2	4	1/3	767	4,75	2,08
	1/2	3	1	1/3	706	5,35	2,06
	1	3	2/3	1/3	985	3,84	2,20
	2	3	2/3	1/3	807	7,54	2,01
4	1/2	4/5	1	1/3	90	13,59	6,60
	1/2	4	2/3	1/3	317	15,75	7,87
	1	5	3	1/3	245	12,57	8,35
	2	2	4	1/3	787	11,26	5,18
5	2	5	3	1/3	324	19,86	9,30

muestra de carreteras convencionales españolas, con una longitud total de 1 956 km (1 432 km de la Red del Estado y 514 km de la Red de la Junta de Extremadura). Las carreteras estudiadas presentaban durante el período de estudio un rango de IMD comprendido entre 960 y 13 270 veh/día.

La toma de datos se refirió a tramos de una longitud fija de 100 m. Para cada tramo se determinaron los valores de los indica-

dores de configuración de las márgenes a partir de los inventarios en vídeo facilitados por las Administraciones correspondientes complementados con tomas de datos en campo. Estos datos fueron posteriormente agregados para que las muestras a analizar consistieran en tramos de 200 m.

Para cada tramo de 200 m se obtuvieron de las bases de datos de seguridad vial de las administraciones correspondientes los registros de accidentes por salida de la calzada a lo largo de un período de 6 años (2000-2005) y los valores medios de la IMD en este período.

Análisis de conglomerados y definición de categorías

Los diferentes valores de los indicadores de configuración de las márgenes dan lugar a un total de 120 combinaciones posibles, cada una de las cuales representa una posible configuración de la margen de la carretera. Para establecer categorías homogéneas de estas configuraciones respecto a la accidentalidad por salida de la calzada se realizó un análisis estadístico de los valores medios de dos índices que relacionan la frecuencia de los accidentes por salida de la calzada y la gravedad de sus

consecuencias con el nivel de exposición al riesgo de los vehículos que recorren las carreteras, medido éste último a través de las distancias recorridas en cada tramo objeto de análisis. Los índices son los siguientes:

- Índice de frecuencia de accidentes por salida de la calzada (IFs)

Este índice se define como el número de accidentes con víctimas por salida de la calzada por cada cien millones de km recorridos. El valor de este índice para un determinado tramo de carretera puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$IFs = \frac{ACV}{IMD_m \cdot L \cdot 365 \cdot N} \times 10^8$$

siendo

ACV: Número de accidentes con víctimas por salida de la calzada registrados durante el período de análisis

IMD_m: Intensidad media diaria a lo largo del período el análisis (veh/día)

L: longitud del tramo objeto de análisis (km)

N: Número de años del período de análisis

- Índice de heridos graves y muertos por salida de la calzada (IGs)

Este índice se define como el número de víctimas mortales y heridos graves en accidentes por salida de la calzada por cada cien millones de km recorridos. El valor de este índice para un determinado tramo de carretera puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$IGs = \frac{VG}{IMD_m \cdot L \cdot 365 \cdot N} \times 10^8$$

siendo

VG: Número de muertos y heridos graves en accidentes por salida de la calzada durante el período de análisis

Mediante un análisis de conglomerados (clusters) basado en la distancia euclídea resultante de las dos tasas de accidentes se identificaron cinco grupos de combinaciones de los indicadores de configuración de las márgenes con valores medios homogéneos de los índices de frecuencia y de víctimas graves y muertos de los accidentes por salida de la calzada en la muestra analizada (Pardillo, Domínguez y Jurado, 2010). La *tabla 1* (pág. 36) refleja las com-

RECTAS		DISTANCIA A OBSTÁCULOS			
		<3 m	3-5 m	5-10 m	>10 m
INCLINACIÓN DE LOS TALUDES	>1V:2H	ICSM=4	ICSM=4	ICSM=4	ICSM=4
	1V:3H	ICSM=4	d>1m ICSM=3	d>1m ICSM=3	d<1m ICSM=3
		ICSM=4	d<1m ICSM=3	d<1m ICSM=3	d<1m ICSM=3
	1V:4H – 1V:6H	ICSM=3	ICSM=2	ICSM=2	ICSM=2
<1V:6H	ICSM=3	ICSM=2	ICSM=1	ICSM=1	

	ICSM = 1
	ICSM = 2
	ICSM = 3
	ICSM = 4
	ICSM = 5

NOTA: Los tramos protegidos con barrera instalada de acuerdo con las Recomendaciones sobre sistemas de contención se clasifican como ICSM=2, independientemente del valor del resto de los indicadores. En aquellos tramos en los que la disposición de la barrera no cumple las condiciones establecidas en las Recomendaciones el valor del ICSM se obtiene a partir de los valores del resto de los indicadores de configuración de las márgenes.

Figura 7. Gráfico para la clasificación de tramos en rectas sin existencia de barrera.

binaciones de los indicadores incluidas en cada grupo, el tamaño de la muestra N (número de tramos de 200 m) y los índices medios de accidentalidad por salida de la calzada de cada combinación.

A partir de los resultados reflejados en la *tabla 1* se llegó a la conclusión de que los tramos con un valor del indicador de barrera de contención igual a 3, es decir, aquellos en los que la barrera no cumple las condiciones fijadas en las Recomendaciones sobre sistemas de contención en cuanto a longitud o disposición de los terminales, resultaban clasificados en la misma categoría que los que no estaban protegidos con barrera de seguridad, dependiendo por tanto su clasificación de los valores del resto de los indicadores de configuración

de las márgenes. Este resultado confirma la importancia de instalar y mantener las barreras de acuerdo con lo establecido en las Recomendaciones.

A partir de estos resultados se establecieron 5 categorías o niveles del índice de condiciones de seguridad de las márgenes (ICSM) propuesto como resultado de la investigación. Las *figuras 7 y 8* (pág. 38) reflejan gráficamente la definición del ICSM para los tramos en recta y en curva respectivamente.

Contraste estadístico de la clasificación

Para evaluar el nivel de confianza estadístico de la clasificación establecida se

CURVAS		DISTANCIA A OBSTÁCULOS			
		<3 m	3-5 m	5-10 m	>10 m
INCLINACIÓN DE LOS TALUDES	>1V:2H				
	1V:3H	d>1m	d>1m	d>1m	d>1m
		d<1m	d<1m	d<1m	d<1m
	1V:4H – 1V:6H				
<1V:6H					

	ICSM = 1
	ICSM = 2
	ICSM = 3
	ICSM = 4
	ICSM = 5

NOTA: Los tramos protegidos con barrera instalada de acuerdo con las Recomendaciones sobre sistemas de contención se clasifican como ICSM=2, independientemente del valor del resto de los indicadores. En aquellos tramos en los que la disposición de la barrera no cumple las condiciones establecidas en las Recomendaciones el valor del ICSM se obtiene a partir de los valores del resto de los indicadores de configuración de las márgenes.

Figura 8. Gráfico para la clasificación de tramos en curvas sin existencia de barrera.

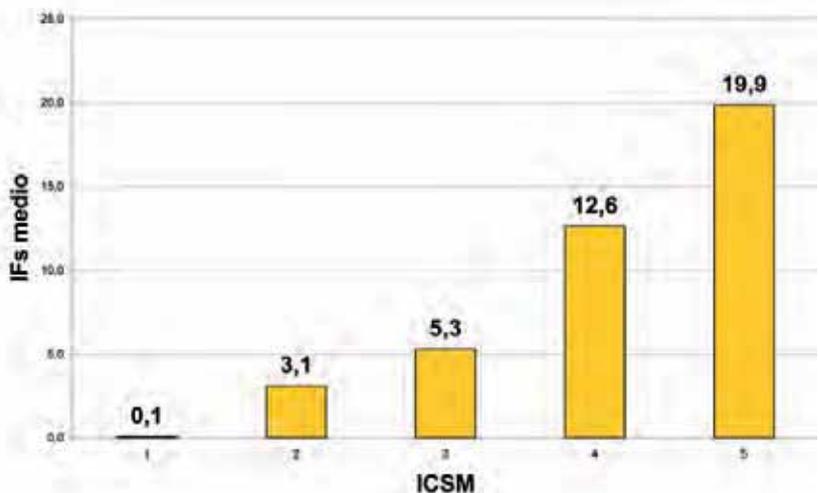


Figura 9. Índice de frecuencia de accidentes con víctimas por salida de la calzada en función del ICSM.

realizaron contrastes del grado de significación de la diferencia de medias de los índices de accidentalidad por salida de la calzada entre las categorías identificadas en la muestra utilizada en la calibración.

Las figuras 9 y 10 reflejan los valores medios de los índices de frecuencia de accidentes de accidentalidad por salida de la calzada en función del valor del ICSM en la muestra utilizada para la calibración.

Dado que los índices de accidentes no presentan una distribución normal, se aplicó una prueba de significación no paramétrica, el test U de Mann-Whitney, que no parte de la hipótesis de normalidad de la distribución y sólo requiere que las dos muestras comparadas sean independientes y que las observaciones sean medidas ordinales o continuas, condiciones ambas que se cumplen en el problema estudiado. Las tablas 2 y 3 (pág. 39) reflejan el nivel de confianza con el que se acepta la hipótesis de no igualdad de medias de los índices de frecuencia y de víctimas graves y muertos de accidentes por salida de la calzada entre categorías del ICSM.

Los resultados reflejados en las tablas 2 y 3 indican que existen diferencias contrastadas con niveles de significación superiores al 99% entre las medias de los índices de frecuencia de accidentes con víctimas por salida de la calzada de todas las categorías del ICSM. Además, las diferencias de medias del índice de heridos graves y muertos son también superiores al 99% entre todas las categorías, excepto entre la 1 y 2, cuya diferencia es significativa al nivel del 85%. En consecuencia, la clasificación establecida de las categorías del ICSM en función de los índices de accidentalidad por salida de la calzada se puede considerar altamente significativa.

Estudio de la influencia del valor de ICSM en la gravedad de los accidentes por salida de la calzada

Como complemento del ajuste del ICSM, se analizó la información correspondiente a 2 546 accidentes con víctimas por salida de la calzada registrados en las carreteras convencionales de la Red del Estado durante el período 2000-2002. La información disponible incluía los datos

correspondientes a la tipología y las consecuencias de los accidentes, y a la configuración de las márgenes (pendiente transversal, naturaleza y situación de obstáculos, presencia y tipo de barrera de seguridad y características del trazado en planta) en el tramo en el que se produce el accidente. Con esta información resultó posible determinar el Índice de condiciones de seguridad de las márgenes (ICSM) correspondiente al tramo en que se produjo cada accidente.

Dado que no se disponía de información que permitiera calcular los valores del ICSM en los tramos en los que no se registraron accidentes a lo largo del período considerado, no fue posible basar el análisis en los índices de frecuencia y gravedad de los accidentes por salida de la calzada. En cambio, con la información disponible sí fue posible estudiar los siguientes ratios de gravedad de los accidentes:

- Ratio de víctimas mortales por cada 100 accidentes con víctimas: VM/100 ACV.
- Ratio de heridos graves por cada 100 accidentes con víctimas: HG/100 ACV.
- Ratio de heridos leves por cada 100 accidentes con víctimas: HL/100 ACV.

La *tabla 4* refleja los valores de estos ratios en función del valor del índice de condiciones de seguridad de las márgenes.

Los ratios de víctimas mortales y de heridos graves por cada 100 accidentes con víctimas reflejados en la *tabla 4* son crecientes con el valor del ICSM. Esto confir-

Tabla 2. Nivel de significación de la diferencia de medias de los índices de frecuencia de accidentes con víctimas por salida de la calzada entre categorías del ICSM.

ICSM	1	2	3	4	5
1		99,8900%	100%	100%	100%
2	99,8900%		99,7900%	100%	100%
3	100%	99,7900%		100%	100%
4	100%	100%	99,7900%		99,9700%
5	100%	100%	100%	99,9700%	

Tabla 3. Nivel de significación de la diferencia de medias de los índices de heridos graves y muertos por salida de la calzada entre categorías del ICSM.

ICSM	1	2	3	4	5
1		85,4800%	98,1800%	99,9600%	100%
2	85,4800%		99,9700%	100%	100%
3	98,1800%	99,9700%		100%	100%
4	99,9600%	100%	100%		99,8800%
5	100%	100%	100%	99,8800%	

Tabla 4. Ratios de gravedad de los accidentes con víctimas en función del índice de condiciones de seguridad de las márgenes.

ICSM	N	VM	HG	HL	VM/100 ACV	HG/100 ACV	HL/100 ACV
1	288	13	92	310	4,5	31,9	107,6
2	405	22	139	389	5,4	34,3	96,0
3	298	17	111	329	5,7	37,2	110,4
4	789	54	299	822	6,8	37,9	104,2
5	766	99	308	718	12,9	40,2	93,7

ma la coherencia del índice al reflejar mayor gravedad media de los accidentes por salida de la calzada en los tramos con peores condiciones de seguridad de las márgenes.

Por otra parte, los accidentes por salida de la calzada en tramos dotados de

barreras de seguridad dispuestas según lo especificado en las Recomendaciones de Sistemas de Contención (ICSM = 2) tienen menor gravedad media que los que tienen un ICSM superior, por lo que es recomendable proteger con barreras los tramos que presenten estos valores del ICSM, dando prioridad a los de las categorías más elevadas.

Conclusiones

La investigación llevada a cabo ha permitido caracterizar las condiciones relativas a la seguridad de la circulación de las márgenes de las carreteras a través de un indicador, el ICSM, para el que se han definido cinco categorías. Esta clasificación permite además expresar las características de las márgenes mediante una única variable independiente. De este modo, esta variable podrá ser incluida de manera sencilla en los modelos de predicción de la frecuencia de los accidentes, y más concretamente, per-

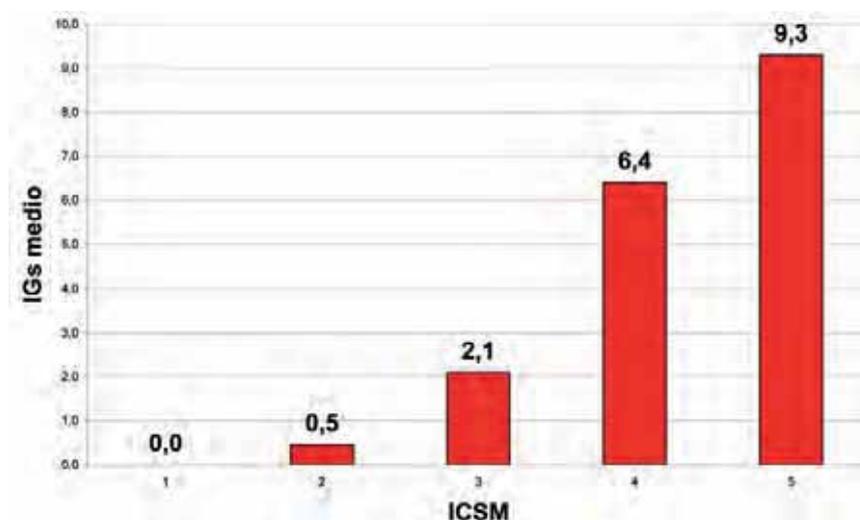


Figura 10. Índice de heridos graves y muertos por salida de la calzada en función del ICSM.

mitirá desarrollar, junto a otras variables, modelos de predicción de la accidentalidad por salida de la calzada.

El ICSM se puede utilizar también para normalizar la recogida de información relacionada con la seguridad de las márgenes de las carreteras, haciendo referencia a los cuatro indicadores de configuración de las márgenes utilizados en la definición del índice.

De los resultados de la investigación fueron extraídas también las siguientes conclusiones:

- En todos los casos en que sea viable técnica y económicamente, deben disponerse pendientes transversales de las márgenes de 1:6 o menores, que son las que permiten conseguir un valor del ICSM de 1.
- Teniendo en cuenta los valores de distancia a obstáculos que caracterizan los tramos incluidos en la categorías con ICSM superior a 3, parece indicado que en las carreteras convencionales se establezca una anchura de la zona de seguridad de entre 3 y 5 m según la inclinación de las márgenes.
- Los obstáculos con los que se han producido colisiones mortales en la muestra analizada son, por orden decreciente de frecuencia: los elementos de drenaje, los árboles y postes, los soportes de estructuras y los taludes de desmonte. Esto indica que es recomendable atender prioritariamente a su tratamiento cuando se encuentren situados dentro de la zona de seguridad.
- En lo relativo a las colisiones con obstáculo con víctimas, además de los relacionados en el apartado anterior, aparecen también con una frecuencia elevada las cunetas y, con menor frecuencia, las farolas. En consecuencia, para mejorar la seguridad de las márgenes es recomendable considerar también el tratamiento más adecuado para estos elementos.
- Teniendo en cuenta los valores de la inclinación de las pendientes transversales y de los desniveles que caracterizan los tramos incluidos en las categorías con ICSM superior a 3, en las que se han observado los valores más altos de los ratios medios de gravedad de los accidentes por salida de la calzada,

se puede considerar la inclinación de 1:3 como valor crítico de la pendiente transversal, a partir del cual deben protegerse los taludes de terraplén con una barrera de seguridad.

- En los programas de mejora de la seguridad vial, la instalación barrera de seguridad se debe considerar para proteger aquellos sectores que presentan valores del ICSM superiores a 2, dando prioridad a los valores más altos del índice.

Agradecimientos

La investigación reflejada en este artículo fue subvencionada por el Centro de Estudios Públicos y Experimentación de Obras (CEDEX) del Ministerio de Fomento. Los autores agradecen también la colaboración de la Dirección General de Carreteras, de la Unidad de Carreteras de Teruel y de la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura del Ministerio de Fomento y de la Dirección General de Carreteras de la Junta de Extremadura en la obtención de datos.

Referencias

- AASHTO (2002): "Roadside design guide". American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- Council, F. y Stewart, J. (1996): "Severity indexes for roadside objects". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1528, 87-96.
- Dirección General de Carreteras (1995): "Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos". OC 321/95. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Dirección General de Carreteras (2009): "Criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas". OC 28/2009. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Dirección General de Tráfico (2010): *Anuario estadístico de accidentes 2008*. DGT, Madrid
- Lee, J., y Mannering, F. (2002): "Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis". *Accident Analysis & Prevention*, 34(2), 149-161.

Mak, K. (1995): "Safety effects of roadway design decisions-roadside". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1512, 16-21.

Mak, K., Sicking, L. y Zimmerman, K. (1998): "Roadside Safety Analysis Program: A Cost-Effectiveness Analysis Procedure". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1647, 67-74.

Pardillo, J.M. y Llamas, R. (2003): "Relevant Variables for Crash Rate Prediction in Spain's Two-lane Rural Roads". *TRB 82nd Annual Meeting Compendium of Papers Transportation Research Board*, Washington D.C.

Pardillo, J.M. et al (2009): "DISCAM: Herramientas para un diseño seguro de la carretera y sus márgenes. Informe final". Universidad Politécnica de Madrid.

Pardillo, J.M., Domínguez, C.A. y Jurado, R. (2010): "Empirical Calibration of a Roadside Hazardousness Index for Spanish Two-Lane Rural Roads". *Accident Analysis and Prevention* 42-6 (2010), pp. 2018-2013

Ray, M.H. (1999): "Impact conditions in side-impact collisions with fixed roadside objects". *Accident Analysis and Prevention* 31, 21-30.

Riser Consortium (2005): "Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads". *Roadside Infrastructure for Safer European Roads, Deliverable 6. 5th Research Framework Programme "Growth"*, European Commission, Brussels.

Stonex, K. A. (1960): "Roadside design for safety". *Highway research board proceedings. Vol. 39. Transportation Research Board*. Washington, D.C.

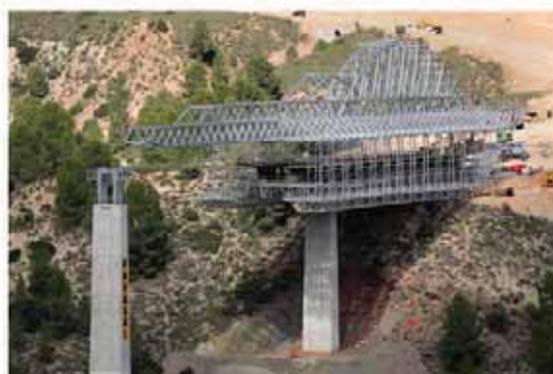
Turner, S., Dixon, A. Y Wood, G. (2004): "Assessing the crash risk implications of roadside hazards". *Technical Conference Papers 2004, IPENZ Transportation Group*. New Zealand.

Zegeer, C. V. et al. (1988): "Safety effects of cross-section design for two-lane roads". *Transportation Research Record* 1195. *Transportation Research Board*. Washington, D.C.

Zegeer, C. V. et al. (1988): "Accident effects of sideslope and other roadside features on two-lane roads". *Transportation Research Record* No. 1195. *Geometric design and operational effects*. ❖



PAVASAL





N-330, de Alicante y Murcia a Francia por Somport

Puesta en servicio de la Variante de Cofrentes

Por Enrique Ballesteros Blaise-Ombrecht
ICCP y Director de las obras
y del proyecto

La N-330 constituye, en el tramo comprendido entre Almansa y Teruel, una alternativa al tráfico de largo recorrido sur – norte, sin pasar por Valencia (A-7), donde el tráfico es especialmente elevado.

Hasta Almansa (A-31), y desde Teruel hacia el norte (A-23), la carretera tiene características de autovía, a falta de unos tramos cerca de la frontera francesa. El tramo intermedio, por tanto, tiene características de carretera de calzada única con travesías de población y velocidades específicas reducidas en algunos tramos.

Existen diversas actuaciones en marcha para la eliminación de las travesías y mejora del trazado con el fin de obtener al menos una velocidad específica de 80 km/h, tales como la Variante de Ayora (en fase de redacción del Estudio Informativo), la Variante de Cofrentes, la Variante del Puerto de la Chirichana (con proyecto de construcción aprobado e incluida su ejecución en la planificación vigente), el Estudio Informativo, continuación del proyecto ante-

rior, entre Los Pedrones y Requena (A-3) y la autovía Cuenca – Teruel (que coincide en parte con la N-330, en fase de obtención de la Declaración de Impacto Ambiental D.I.A.). A continuación, se presenta la actuación referente a la Variante de Cofrentes, que recientemente fue abierta al tráfico en un acto presidido por la secretaria general de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, Dña. Inmaculada Rodríguez-Piñero.

Situación anterior a las obras

La N-330, en el tramo que nos afecta de la variante de Cofrentes (pp.kk. 135,8 al 141,1, aproximadamente), tiene unas características de tráfico bastante deficientes, debido a la escasa distancia a las edificaciones existentes en los márgenes de la travesía, la presencia de un puente metálico sobre el río Cabriel y un paso superior con limitación de ancho y de gálibo (4 m), así como dos curvas de radio reducido que impiden el giro de vehículos pesados de cierta entidad, lo que les obliga a dar un rodeo utilizando la N-430 para ir de Almansa a

Requena y viceversa. Por ello, el tráfico de vehículos pesados está fuertemente restringido debido a estas dificultades.

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se sitúa dentro de la Rama Castellana de la Cadena Ibérica en su entronque con la Cadena Prebética Oriental.

El relieve del entorno es bastante abrupto con barrancos generalmente muy encajados, como consecuencia de la litología existente en la región. El trazado ejecutado presenta unas cotas que oscilan entre la +480, en la ladera del cerro de La Muela, y la +325, en el cauce del río Cabriel.

El actual recorrido en los primeros kilómetros, tras pasar el pueblo, se realiza por una calzada muy estrecha y con un trazado angosto y sinuoso, circunstancias que hacen necesaria la presencia de espejos convexos, a fin de permitir el cruce de vehículos, en varias de las curvas de la travesía.

La sección transversal de la carretera es de 7 m de calzada con arcenes de 1,50 m, excepto en la zona de los citados puentes o la propia travesía en donde la sección se estrecha llegando hasta un ancho de 5 m sin arcenes.

Descripción de la actuación

Las obras ejecutadas, y en lo que a trazado se refiere, han comprendido:

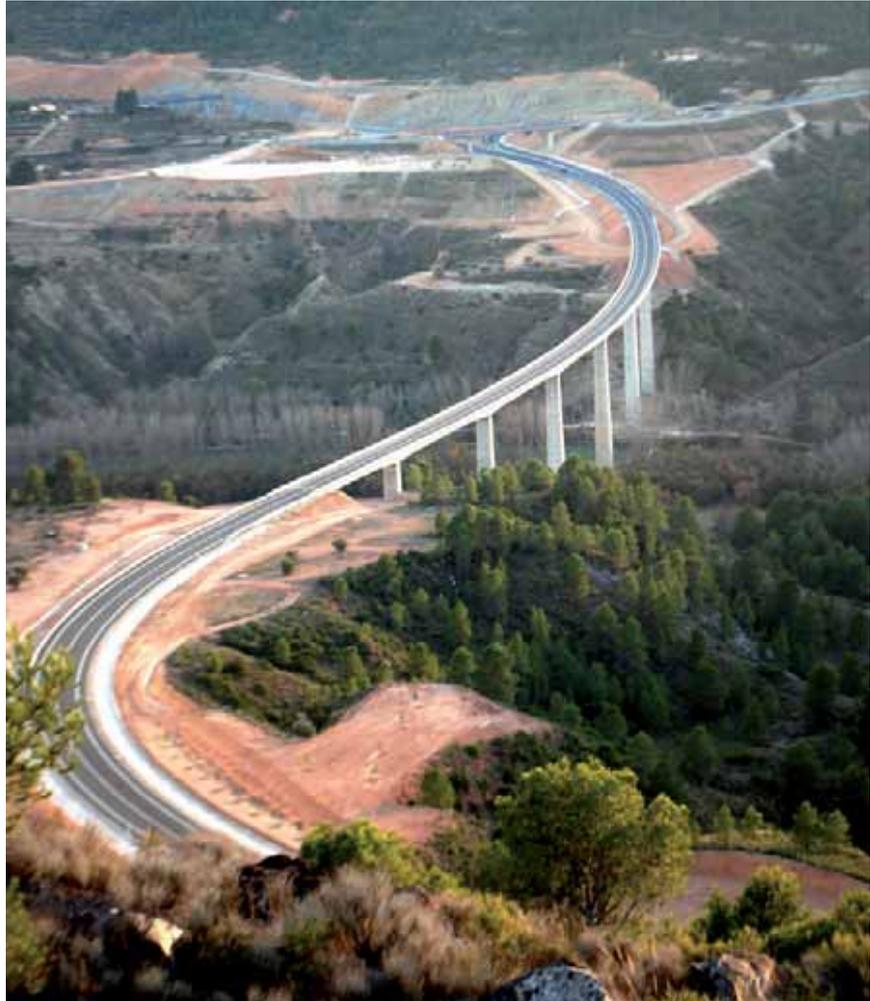
- La creación de una sección de carretera convencional de calzada única, con dos carriles de 3,50 m y arcenes de 1,50 m, flanqueada por los caminos necesarios para dar acceso a las distintas propiedades. La velocidad de proyecto exigida es de $V_p = 80$ km/h.
- La creación de tres enlaces, en el origen y en el final con la N-330, y en la zona intermedia con la CV-439.
- La reposición de todas las carreteras y caminos interceptados, así como la de los accesos a las diferentes propiedades.
- La reposición de los servicios afectados entre los que se incluyen fundamentalmente líneas eléctricas, acequias y balsas de riego.

Trazado

Parte la Variante de la carretera N-330, a unos 500 m al norte del acceso a la central nuclear de Cofrentes, que queda por tanto fuera del tramo, y gira el trazado hacia el oeste, ascendiendo con una pendiente del 6% por la falda del cerro de La Muela y, tras sobrepasar la población de Cofrentes, toma dirección norte (dirección que ya no abandona hasta el final) descendiendo para cruzar el río Cabriel mediante un viaducto de, aproximadamente, 520 m de longitud y una altura sobre la lámina de agua, en la cola del embalse de Embarcaderos, de unos 50 m. A partir de este punto vuelve a



Ubicación de la obra.



Vista aérea del viaducto sobre el río Cabriel, de 521 m de longitud y 50 m de altura sobre el valle.

ascender discurriendo por la ladera del Cerro de Agrás y se dirige hacia la N-330 con la que conecta de nuevo a una distancia de 5 685 m del origen.

La zona recorrida es muy accidentada por lo que se producen desmontes y terraplenes importantes, sobre todo en la zona inicial antes del cruce del río Cabriel.

El mayor terraplén se alcanza a la altura del p.k. 1+060 y alcanza una altura de 14 m en el eje que se convierten, dada la pendiente de la ladera, en 25 m en el pie del talud derecho.

Los mayores desmontes se producen en la falda del cerro de La Muela y alcanzan alturas de 22,5 m en el eje (que se transforman en 35 m en el pie de talud más alto).

En cuanto a sus características geométricas, el trazado en planta, así como los carriles de cambio de velocidad y las cuñas se han ejecutado para una velocidad de proyecto de 80 km/h; y en cuanto al trazado en alzado, la mayor inclinación en el tramo es del 6,00%.

La variante presenta control total de accesos efectuándose las conexiones con ella mediante los tres enlaces que más adelante se describen. Para evitar las entradas de peatones o animales se dispone de una valla perimetral de cerramiento.

Enlaces y estructuras

Los enlaces del tramo, como ya se ha comentado, son tres. El primero y el último son del tipo trompeta y se sitúan sobre la actual N-330. Permiten la conexión de la variante con la travesía y se les ha dotado de una glorieta que permite la conexión de otros viales en la confluencia. En ambos casos, el ramal de cruce lo hace bajo la Variante. En concreto, la implantación del enlace norte, en el final de la variante, cumple con la prescripción establecida en la aprobación definitiva del estudio informativo de permitir los movimientos Cofrentes-Requena y Requena-Cofrentes.

El enlace intermedio permite todos los

Vistas de la construcción de una cimbra en diferentes periodos.



movimientos y representa una vía alternativa de salida a la N-330 en el caso de que, por motivos de seguridad, sea aconsejable la evacuación de la población residente en las proximidades de la central nuclear y de sus propios trabajadores.

Es un diamante modificado al que, fundamentalmente por motivos de alzado y de separación con la estructura sobre el Ca-

Además de las estructuras correspondientes a los enlaces y del viaducto del río Gabriel, se han proyectado otros tres pasos inferiores (pp.kk. 0+580; 4+392,587 y 5+089,009) y uno superior (p.k. 1+455) que, junto a los cruces bajo el viaducto, conservan la permeabilidad de la red viaria existente.

La única vía pecuaria interceptada, a la altura del p.k. 1+520, es la Vereda de la Muela que se repone mediante el paso superior y un vial específico de conexión. La vereda en esta zona es una senda estrecha sin ningún tipo de pavimentación y con pendientes del orden del 25%.

Se han ejecutado diez tramos de caminos agrícolas y doce accesos a propiedades (con iguales características que los caminos agrícolas, excepto su ancho que pasa a ser de 3 m) que sustituyen a los equivalentes afectados por la caída de tierras de los nuevos viales o conectan con pasos a desnivel para reponer la red existente.

El trazado finalmente ejecutado discurre mucho más hacia el este salvando todos los espacios con mayor conservación, incluido el arroyo del Pilón, lo que ha exigido la construcción de un viaducto de 521 m de longitud y de unos 50 m de altura sobre el valle.

Para alcanzar la mayor integración paisajística, se ha recurrido a aproximarse a la relación "áurea" entre la altura de las pilas y la distancia entre éstas, fijándose la longitud del vano en 70 m.

Esta longitud de vano es la mayor construida hasta la fecha en España por medio de cimbra autolanzable (el medio más adecuado para su ejecución debido a la planta del trazado), la cual tiene una importante innovación tecnológica en su diseño geométrico y en el empleo de cables que se tensan mediante sensores en función de la carga soportada. ❖

Resumen de características	
Longitud actuación	5 685 m
Velocidad de proyecto	80 km/h
Pendiente máxima	6%
Anchura de calzada	7 m
Anchura de arcenes	1,5 m
Número de enlaces	3
Número de P. Superiores	3
Número de P. Inferiores	5
Número de viaductos	1
Longitud total de viaductos	521 m
Superficie tableros estructuras	6 802 m ²

Inversión	
Presupuesto de la obra	23 310 000,00 euros
Expropiaciones	2 211 521,05 euros
Asistencia técnica, control y vigilancia	1 221 174,60 euros
Redacción del proyecto	363 435,86 euros
Total	27 106 131,51 euros

riel, se han modificado dos de sus patas para transformarlas en sendos lazos. Se sitúa sobre una carretera de la *Generalitat Valenciana*, la CV-439, y requiere de un paso superior para cruzar la Variante.

Viaducto sobre el río Gabriel

Atención especial requiere este viaducto cuyo trazado, incluido en el Estudio Informativo citado, se situaba más hacia el oeste para cruzar el río en una zona más estrecha, lo que implicaba un trazado que invadía zonas forestales inalteradas. La Declaración de Impacto Ambiental prescribió un desplazamiento hacia el este de unos 170 m para minimizar este impacto, que tal vez, por falta de documentación, producía un impacto mayor al afectar al roquedal situado en ese punto en la margen derecha.

Ficha técnica

Titular:

Ministerio de Fomento.
Demarcación de Carreteras del
Estado en la Comunidad Valenciana

Director de la obra y del proyecto:

D. Enrique Ballesteros Blaise-Ombrecht, ICCP

Empresa constructora:

PAVASAL, Empresa Constructora, S.A.

Delegado del Contratista:

D. Francisco Querol, ICCP

Asistencia técnica, control y vigilancia de
las obras:

Fomento de Infraestructuras, S.L.



◆ Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga. Tramo: Autovía A-357 Guadalhorce – Conexión C-3310



▶ HIPERRONDA DE MÁLAGA

Solidez de futuro

La **fuerza** de un **gran grupo internacional**
de construcción y concesiones



OHL

www.ohl.es



Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga

El Ministerio de Fomento pone en servicio el tramo Autovía A-357 del Guadalhorce-Conexión carretera C-3310

José A. Domingo Atencia
ICCP y Director de las obras

El pasado 28 de diciembre de 2010, el ministro de Fomento, **D. José Blanco**, y el presidente de la Junta de Andalucía, **D. José Antonio Griñán**, presidieron la puesta en servicio de los 11,4 km que unen la Autovía A-357 del Guadalhorce con la carretera C-3310 y con la Autovía del Mediterráneo, A-7, tramos comprendidos en la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga, conocida como Hiperronda.

Ambas actuaciones han sido ejecutadas a través de la SEITT y cofinanciadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, fondos FEDER. La inversión conjunta realizada ha ascendido a cerca de 190 millones de euros.

La Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga, de uso gratuito para to-

dos los usuarios, consta de cuatro tramos con una longitud total de 21 km, de los que 11,4 km son los puestos en servicio.

A continuación describiremos el primero de los citados, comprendido entre la A-357 y la C-3310, de 5,1 km de longitud, y que discurre desde la Autovía del Guadalhorce, a la altura del centro de transportes de mercancías, hasta la carretera C-3310, camino viejo de Antequera, al final del Puerto de la Torre. Su construcción se complementa con las siguientes actuaciones:

- Enlace del Guadalhorce, complejo nudo viario que permite la conexión entre la Nueva Ronda Oeste y otros tres viales: la Autovía A-357, el Vial Metropolitano y la carretera A-7076 de Campanillas.
- El tramo final del Vial Metropolitano Distribuidor Oeste. De algo menos de dos kilómetros de longitud, entre la carretera A-7054 (antigua MA-401 o Avenida

de José Ortega y Gasset) y su conexión con la Nueva Ronda Oeste, transitando junto al Centro de Transportes de Mercancías.

- La restitución de la carretera A-7076 (antigua MA-405, Carretera de Campanillas).

Además, hay que destacar que la intensidad media diaria de tráfico esperada en este tramo de la Nueva Ronda alcanza los 54 068 veh/día, cifra que se incrementará hasta los 113 792 veh/día en el año horizonte de proyecto (2030), con una categoría de tráfico pesado T0.

Antes de entrar en la descripción del tramo, hay que destacar que los taludes adoptados en los desmontes de la obra se han construido en función de los materiales atravesados, variando entre 3H:2V en formaciones rocosas, y 2H:1V en suelos sueltos, mientras que para los rellenos de



En la imagen se aprecian los 4 carriles por sentido de la circulación del nuevo tramo.

la explanación se han adoptado de forma genérica taludes 3H:2V. En los rellenos de altura superior a 8 m situados en el tronco de la autovía se han previsto taludes 2H:1V.

En cuanto al movimiento de tierras total de la obra este ha sido de 3 934 500 m³, de los cuales las excavaciones alcanzan los 2 033 000 m³ y los rellenos suponen 1 901 500 m³. Las necesidades de préstamos necesarios fueron de 245 530 m³, y se corresponde con los materiales necesarios para la formación de las explanadas. El volumen con destino a vertedero ha sido de 564 000 m³.

Secciones tipo

La sección transversal de este tramo consta de dos calzadas de 14 m de anchura cada una, con cuatro carriles de 3,5 m por sentido de circulación, arcenes exteriores de 2,50 m e interiores de 1,5 m y bermas de 1,50 m. Esta ampliación de carriles fue una de las modificaciones introducidas por el Ministerio de Fomento en el proyecto, que sólo contaba con tres carriles. De esta forma, se la dota de mayor capacidad para su uso futuro.

Ambas calzadas se encuentran sepa-

radas por una mediana estricta de 2 m de anchura.

Por lo que se refiere a la sección del firme adoptado para el tronco de la autovía, se corresponde con la sección 032, de tipo semirrígido, y consta de una subbase de suelocemento de 25 cm de espesor y una sucesión de capas de mezclas bituminosas en caliente de 20 cm de espesor total: 4 cm de PA-12 de tipo drenante en la capa de rodadura, 6 cm de S-20 y 10 cm de G-25.

La categoría de explanada adoptada para los diferentes viales ha sido de tipo E3, y se ha obtenido mediante la ejecución de una capa de suelo estabilizado "in situ" con cemento de 30 cm de espesor, sustentada sobre un relleno de suelo seleccionado tipo 2, de espesor variable en función de la calidad del suelo donde descansa.

Estructuras

El nuevo tramo de autovía presenta un total de 17 estructuras, destacando entre ellas el viaducto de Los Ruices, que salva el cruce con la profunda vaguada del arroyo Arias, en la parte central del recorrido. Su longitud total es de 221 m, dispuesta en siete vanos donde los extremos son de 23 m y los centrales de 35 m cada uno. El tablero es de vigas prefabricadas y las cimentaciones son directas.

En cuanto al resto de estructuras, hay



Enlace Nueva Ronda de Málaga - (A-357).

Infraestructuras Viarias



Esquema de trazado.

que destacar:

- 5 pasos superiores con distintas soluciones: uno con losa continua postesada, de canto constante de 1 m; y dos pasos con tablero de vigas prefabricadas tipo artesa. Además se deben mencionar los pasos superiores de tableros mixtos del enlace del Guadalhorce, con longitudes de 280 y 367 m respectivamente, que cruzan en tres niveles de altura sobre la autovía A-357 y sobre la Nueva Ronda de Circunvalación de Málaga.
- 11 pasos inferiores para dar continuidad a caminos existentes o de nueva ejecución, con soluciones de tipo marco de hormigón armado para tres de ellos, losa continua postesada de canto constante de 0,75 m para uno, tablero de vigas prefabricadas tipo doble T en 5 ocasiones, artesa en una de ellas, y, por último, la ampliación de una bóveda triarticulada existente de dimensiones interiores 6,0 x 4,0 m.

Además, se distinguen 4 muros de contención de tierras, situados en su totalidad



Acto oficial de apertura al tráfico del nuevo tramo.

en los ramales del enlace del Guadalhorce, y la disposición de 49 obras de drenaje transversal: 11 de ellas situadas a lo largo del tronco de la autovía y el resto en los ramales del enlace del Guadalhorce. La mayor parte se corresponde con marcos o bóvedas de hormigón armado, de dimensiones interiores comprendidas entre 2 x 2 y 7 x 3 m.

También hay que destacar que, a lo largo del tronco de la autovía, se ha dispuesto cuneta trapezoidal y colector de 1 000 mm en la mediana, así como cunetas revestidas laterales en zona de desmonte, de 1,5 m de anchura. Estas últimas también se encuentran en todos los ramales de enlace.

Finalmente, en algunos tramos del tronco de la autovía se han dispuesto drenes colectores para el drenaje profundo de la plataforma.

Impacto ambiental y otras obras

Las actuaciones medioambientales más significativas que se han desarrollado corresponden al inventario y trasplante del arbolado autóctono o de interés, el programa de protección del camaleón, la reposición de vías pecuarias, el plan de prevención y extinción de incendios forestales, y la instalación de pantallas de protección acústica en aquellas zonas donde se afectan a edificaciones existentes o previstas en los desarrollos urbanísticos colindantes con la autovía.

Unidades más importantes	
Excavación en desmonte	2 033 000 m ³
Relleno y terraplén	1 901 500 m ³
Explanada S-Est 3	358 818 m ³
Suelocemento	95 937 m ³
Mezclas bituminosas	172 204 t
Obras de drenaje	2 914 m
Encauzamientos	1 146 m
Hormigón estructural	65 200 m ³
Vigas prefabricadas de hormigón	7 298 m
Acero corrugado	9 921 129 kg
Acero estructural S-355 J2G3	910 624 kg

Por lo que se refiere a los servicios, hasta un total de 38 existentes han resultado afectados por la construcción de las obras de la autovía, algunos de ellos de gran envergadura como la conducción de abastecimiento de aguas a Málaga (doble tubería de 1 m de diámetro). También se han restituido líneas eléctricas de transporte, líneas telefónicas y diversas infraestructuras de abastecimiento y saneamiento, situadas en su mayor parte en la zona de vega del Guadalhorce.

Finalmente, añadir que en el proyecto se ha incluido la señalización, balizamiento y defensas de la autovía y los restantes viales diseñados, así como una malla de cerramiento y dos estaciones de aforos; y que se han restituido caminos y otros viales necesarios para garantizar las condiciones de accesibilidad preexistentes. ❖

Ficha técnica

Titular:	SEITT. Ministerio de Fomento. Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental
Director de la obra:	D. José Antonio Domingo Atencia, ICCP
Asistencia técnica redacción de proyecto:	Typsa
Empresa constructora:	OHL
Jefe de obra:	D. Francisco Javier Cañada Ruiz, ICCP
Asistencia técnica, control y vigilancia de las obras:	Urci Consultores

La ingeniería es nuestra fortaleza



Colaboración con el Ministerio de Fomento en el control y vigilancia de las obras de la Ronda Exterior de Málaga. Tramo: Autovía del Guadalhorce (A-357)- Carretera C-3327



ALMERÍA

Los Picos, 5
04004 Almería
Tel: +34 950 620 020
Fax: + 34 950 620 021

MADRID

MÁLAGA
SEVILLA
LIMA (Perú)



Estructura tipo pérgola en el enlace con la A7.

6,31 km de longitud troncal, y ha supuesto una inversión aproximada de 91,66 millones de euros, que han sido cofinanciados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

La apertura al tráfico de este tramo, sumados a los algo más de los 5 km del citado tramo anterior, supondrá la absorción diaria de unos 54 000 vehículos que antes transitaban por la ronda oeste de circunvalación, y que en 2030 crecerán hasta los 114 000 de IMD. Estas nuevas infraestructuras beneficiarán sensiblemente a los camiones que antes iban al CTM, atravesando el falso túnel de Carlos Haya; a los más de 15 000 empleados del Parque Tecnológico de Andalucía, y a los vecinos de Teatinos, Campanillas y Puerto de la Torre.

Entre sus características geométricas hay que destacar que la nueva infraestructura ha sido diseñada con un radio mínimo en planta de 500 m y máximo de 5 000 m, y una pendiente máxima del 4,98%. Así mismo, a lo largo de su recorrido se han dispuesto: dos enlaces, siete viaductos con una longitud conjunta de 1 105 m, cinco pasos superiores, un paso inferior, dos pasos de fauna y siete obras de drenaje (marcos de 3 x 2,5 m).

Descripción del trazado

En el inicio, la autovía toma dirección noreste y resuelve la conexión con la carretera A-7075 mediante un enlace de tipo diamante con glorieta inferior, de 70 m de radio, que se salva con dos estructuras de vano único sobre estribos de tierra armada y tablero de vigas prefabricadas, dando acceso a la barriada de Puerto de la Torre y a la población de Almogía.

En este entorno se está ejecutando el futuro enlace con la autopista de Málaga - Alto de las Pedrizas AP-46.

A partir de esta zona, el trazado gira hacia el sureste, bordeando los parajes de Los Llanos y Los Gázquez.

El arroyo España se cruza con dos viaductos seguidos, de 93 m y 153 m de longitud, y se alcanza el punto más alto de la obra situado a 241 m sobre el nivel del mar.

El paso sobre el arroyo de la Salud se realiza mediante un viaducto de 80 m de longitud; y en el arroyo Teatinos se ubica un

Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga

Abierto al tráfico el tramo Conexión de la carretera C-3310 - Autovía del Mediterráneo A-7

D. Francisco Ruiz Hidalgo
ICCP y Director de las obras

Al igual que el tramo anterior, *Autovía A-357 del Guadalhorce - Conexión carretera C-3310*, el 28 de diciembre de 2010 también fue abierto al tráfico este cuarto tramo de la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste de Málaga, cuya longitud

total suma 21 km, y que discurre entre las inmediaciones del antiguo camino de Antequera (al norte de Málaga, entre la urbanización "El Ventorrillo" y el paraje de San Cayetano), y el p.k. 240 aproximadamente de la actual Autovía del Mediterráneo, A-7, cerca del enlace de Las Virreinas.

El tramo abierto al tráfico, cuyo proyecto fue licitado en diciembre de 2004 y sus obras adjudicadas 2 años después, tiene

Infraestructuras Viarias

doble viaducto, el más largo del recorrido, con 266 m, con vanos comprendidos entre 26,50 y 40,00 m en el lado izquierdo; y entre 27,50 y 40 m, en el derecho.

Más adelante, la Ronda gira en dirección este, bordeando por el sur un grupo de edificaciones existentes, y pasando el arroyo del Cuarto con otro viaducto de 100 m de longitud, buscando a continuación la intersección con la A-7, y salvando el arroyo de Los Ángeles mediante el último de los viaductos, de 240 m de largo.

El tramo finaliza en el enlace con la Nueva Ronda de Circunvalación Oeste con la A-7, que se realiza con un gran esviaje, por lo que se han dispuesto dos estructuras en pérgola para la conexión entre las diferentes calzadas y las vías de servicio implicadas. La penetración de la Nueva



Esquema de trazado.

Ronda en la A-7 se efectúa por el centro, para lo que ha sido necesario ejecutar una variante de 800 m para la calzada derecha

(en sentido a Ronda Este) de la actual A-7, completándose los ramales de conexión con el enlace Las Virreinas.

Estructura	Ubicación (p.k.)	Tipología	Distribución luces	Cimentación
Viaducto 1	Tronco 0+420 al 0+445	Vigas doble T prefabricadas	27 m $L_{total} = 27$ m	Directa
Viaducto 1	Tronco 0+570 al 0+595	Vigas doble T prefabricadas	27 m $L_{total} = 27$ m	Directa
Viaducto 2	Tronco 1+970 al 2+2063	Vigas doble T prefabricadas	3 vanos 26,50+40+26,5 m $L_{total} = 93,0$ m	Directa
Viaducto 2	Tronco 2+107 al 2+266	Vigas doble T prefabricadas	4 vanos 40 m $L_{total} = 159$ m	Directa
Viaducto 3	Tronco 2+883 al 2+963	Vigas doble T prefabricadas	3 vanos 27,00 m $L_{total} = 81,0$ m	Directa
Viaducto 4 MD	Tronco 3+555 al 3+821	Vigas doble T prefabricadas	6 x 40,00 + 26,50 m $L_{total} = 266$ m	Directa
Viaducto 4 MI	Tronco 3+545 al 3+624	Vigas doble T prefabricadas	2 x 39,50 m $L_{total} = 79$ m	Directa
Viaducto 4 MI	Tronco 3+681 al 3+814	Vigas doble T prefabricadas	26,50+2x40+26,50 $L_{total} = 133$ m	Directa
Viaducto 5	Tronco 4+625 al 4+730,6	Vigas doble T prefabricadas	3 vanos 35,17 m $L_{total} = 105,5$ m	Directa Profunda con micropilotes
Viaducto 6	Tronco 5+085 al 5+325	Vigas doble T prefabricadas	6 vanos 40,00 m $L_{total} = 240,0$ m	Directa. Profunda con micropilotes
Puente Arroyo España	Enlace 1 Ramal 5 0+194 al 0+224	Vigas doble T prefabricadas	$L_{total} = 30,0$ m	Profunda
Paso inferior 2	Tronco 5+560 al 5+830	Pérgola: vigas doble T prefabricadas	20,00 m x 289,11 m	Superficial
Paso superior 1	Camino Transversal 3+170	Hormigón postesado	15+ 34+15 m $L_{total} = 64,0$ m	Superficial
Paso superior 2	Camino Transversal 4+190	Hormigón postesado	15+ 34+15 m $L_{total} = 64,0$ m	Superficial
Paso superior 3	Camino Transversal 4+800	Hormigón postesado	15+ 34+15 m $L_{total} = 64,0$ m	Superficial
Paso superior 4	Enlace 2 Ramal 1 0+360 al 0+430	Pérgola: vigas doble T prefabricadas	23,45 m x 71,20 m	Superficial
Paso superior 5	Enlace 1 Ramal 4 0+510 al 0+545	Pérgola: vigas doble T prefabricadas	11,5 x 39 m	Superficial

Estructuras

En lo que se refiere a los viaductos mencionados y dispuestos en el tronco de la autovía, todos han sido construidos con vigas doble T prefabricadas, cimentación directa (dos de ellos profunda con micropilotes) y con longitudes de entre 27 (1 vano) y 266 m (6 vanos). Con igual tipología se diseñó el Puente Arroyo España y cimentación profunda.

Por lo que se refiere al paso inferior dispuesto en el tronco se trata de una pérgola, también con vigas doble T prefabricadas y cimentación superficial.

Finalmente los pasos superiores: tres de ellos en camino transversal, construidos con hormigón postesado y cimentación

Unidades más importantes	
Excavación en desmonte	3 547 058 m ³
Relleno y terraplén	1 857 355 m ³
Explanada S-Est 3	39 854 m ³
Suelocemento	52 510 m ³
Mezclas bituminosas	127 557 t
Obras de drenaje	1 283 m
Hormigón estructural	65 400 m ³
Vigas prefabricadas de hormigón	13 049 m
Acero corrugado	13 560 307 kg
Plantaciones arbóreas y arbustivas	124 536 u
Hidrosiembra	651 285 m ²

Infraestructuras Viarias

Vista del tramo abierto al tráfico en el inicio de su recorrido.



superficial; y los dos restantes, dispuestos en sendos enlaces, son de tipo pérgola con vigas doble T prefabricadas y cimentación superficial.

Secciones tipo

La sección transversal del tronco de autovía dispone de una plataforma de 34 m de anchura, compuesta por tres carriles para cada sentido de la circulación de 3,5 m de anchura, arcenes exteriores de 2,50 m e interiores de 1,50 m, mediana de 2 m y bermas de 1,50 m. Precisamente esta fue una de las modificaciones introducidas por el Ministerio de Fomento sobre el proyecto original, puesto que este tramo contemplaba tan sólo dos carriles. Gracias a ello, se dota a esta autovía de un sensible aumento de su capacidad circulatoria.

La sección del firme en el tronco de la autovía está constituida por un paquete de 20 cm de mezcla bituminosa en caliente dispuesta en tres capas, siendo la de rodadura de tipo drenante (4 cm de PA-12 sobre 6 cm de S-20 y 10 cm de G-25), y 25 cm de suelocemento sobre una explanada tipo E-3, obtenida con suelo estabilizado con cemento.



A lo largo del tramo se han construido un total de 7 viaductos, 5 pasos superiores y 1 inferior.

Impacto ambiental y otras obras

En el aspecto ambiental, se han desarrollado hidrosiembras y plantaciones en la totalidad de las superficies afectadas, medidas de protección del patrimonio arqueológico, de la fauna, del sistema hidrogeológico y de integración paisajística, así como contra el ruido.

La obra se completa con la correspondiente señalización horizontal y vertical, balizamiento y defensas, cerramiento en los márgenes de la autovía, reposición de servicios afectados y otras actuaciones complementarias. ❖

Ficha técnica

Titular:

SEITT. Ministerio de Fomento.
Demarcación de Carreteras del
Estado en Andalucía Oriental

Director de la obra:

D. Francisco Ruiz Hidalgo, ICCP

Asistencia técnica redacción de proyecto:

UTE Narval-Proser

Empresa constructora:

UTE Sacyr - Prinur

Jefe de obra:

D. Ignacio Valverde Sánchez, ICCP

Asistencia técnica, control y vigilancia de
las obras:

Ofiteco



estructuras



prethor



Estructuras E-7 y E-8 en la Hiperronda de Málaga

Estructuras y Prethor han participado en la construcción de las Estructuras E - 7 y E - 8 del Tramo: Conexión Ma-417- Autovía A-357 Guadalhorce, aplicando las soluciones más innovadoras en la producción y montaje de prefabricados.

Un gran impulso viario para la conexión y vertebración en el Norte de Castellón



Enlace de acceso al aeropuerto.

Francisco Zamarbide García
ICCP
Miguel Llorens Alcón
ICCP

Recientemente, la *Conselleria* de Infraestructuras y Transporte de la *Generalitat Valenciana*, a través de la Dirección General de Obras Públicas, ha puesto en servicio la CV-13 de Benloch (CV-10) a Torreblanca (AP-7 y N-340) y el tramo de la autovía autonómica CV-10 La Pobra Tornesa-Cabanes Norte.

Ambas actuaciones estaban incluidas en el Plan de Infraestructuras Estratégicas de la Comunidad Valenciana PIE (2004-2010), Plan que ha continuado con renovado impulso en el II PIE (2010-2020).

La CV-13 surge por la necesidad de conectar las nuevas instalaciones aeroportuarias y en general la autonómica del interior con el corredor costero mediterráneo, compuesto por la N-340 y la autopista de peaje AP-7.

La CV-10, autovía de la Plana, constitu-

ye un eje vertebrador norte – sur que discurre por el interior de la Comunidad Valenciana, permitiendo mejorar el funcionamiento del saturado corredor costero, potenciar la creación de nuevos espacios de oportunidad que reequilibren el territorio y mejorar la accesibilidad de las comarcas del interior. Con el tramo puesto en servicio totaliza 47 km desde Vilavella. Esta autovía continúa hacia el sur por la A-7, CV-40 y nuevamente A-7 hasta el límite con la provincia de Murcia faltando solamente un tramo en Alcoi (actualmente en obras) para tener continuidad. Hacia el norte está en redacción el tramo Cabanes Norte – N-232 y en estudio su prolongación hasta Cataluña.

CV-13: Benloch (CV-10)- Torreblanca (AP-7)

La actual CV-145, que conecta Vila-nova d'Alcolea y Torreblanca, resultaba a todas luces insuficiente tanto por anchura de plataforma como por su sinuosidad, para

albergar el tráfico inducido por el propio Aeropuerto de Castellón. Por ello, la Dirección General de Obras Públicas de la *Generalitat Valenciana* previó la construcción de una carretera de nueva planta, catalogada CV-13. Por otra parte, en la mitad norte de la provincia de Castellón las conexiones transversales entre los ejes de la CV-10 y el costero son escasos por la orografía montañosa.

Lo que en un principio fue concebido como una conexión del aeropuerto con el eje costero, gracias a una modificación del proyecto original introducida por la Dirección General de Obras Públicas, se ha convertido en un nuevo e importante eje trasversal de la provincia de Castellón que comunica el corredor mediterráneo con el eje vertebrador interior.

Para ello fue necesario proyectar un nuevo enlace entre la autovía CV-10 y la CV-13 con ramales directos, completado por un conjunto de enlaces y semienlaces que resuelven la conectividad local, tanto

Características y unidades de obra más importantes	
Longitud del tronco	16,5 km
Estructuras	15 u
Velocidad específica tronco	100 km/h
Radio mínimo	450 m
Sección tipo	7/11
Nº de carriles:	
Del p.k. 0+000 al 1+000	Doble calzada y 2 carriles por calzada
Del p.k. 1+000 al 2+500	Doble calzada y 3 carriles por calzada
Del p.k. 2+500 al 3+200	Transición a carretera convencional
Del p.k. 3+200 al 16+500	Calzada única de 2 carriles
Carril Adicional para vehículos lentos:	
Del p.k. 5+200 al 7+900	Calzada única de 3 carriles
Ancho del carril	3,50 m
Arcén exterior	2,50 m
Arcén interior	1,50 m
Bermas	2 x 1,00 m
Número de enlaces	5
Desmante	2 220 000 m ³
Terraplén	1 931 350 m ³
Suelo estabilizado S-EST3	101 550 m ³
Suelo estabilizado SC-40	77 150 m ³
Zahorra artificial	18 500 m ³
Mezclas bituminosas	162 500 t
Hormigones	16 550 m ³
Acero	1 274 450 kg
Vigas doble T prefabricadas	1 520 m
Vigas PI invertidas prefabricadas	1 495 m
Vigas artesa prefabricadas	445 m
Presupuesto de obra	43 477 741,20 €
Total de la inversión	57,90 millones €

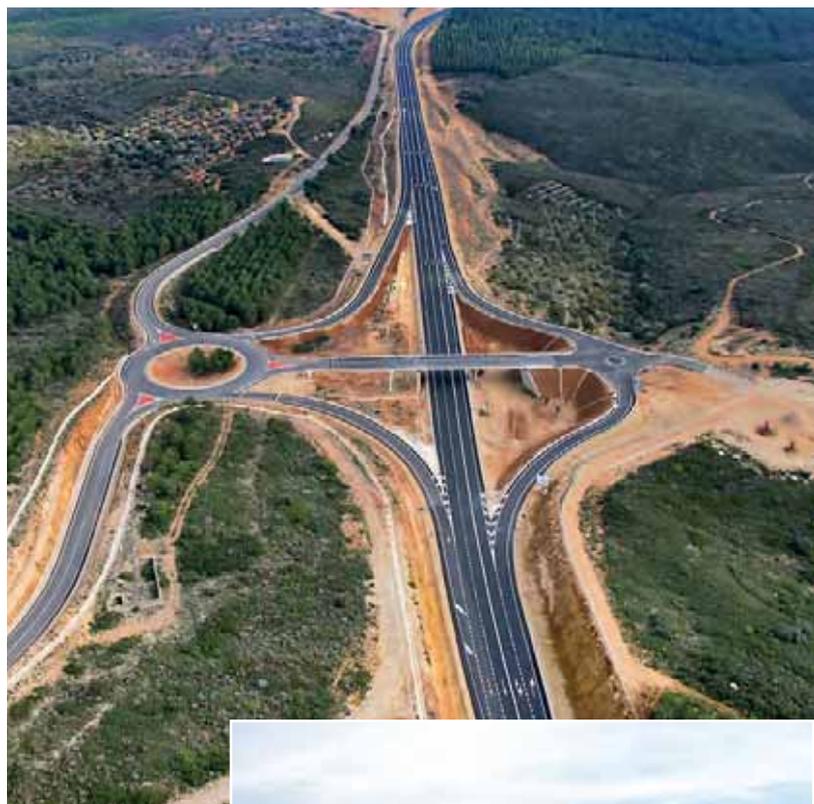


Foto superior: vista aérea del enlace de Vilanova de Alcolea.
Foto inferior: Estructura con aletas de mampostería.



con las autovías como con el aeropuerto de Castellón. En el diseño de dicho enlace se ha contemplado la conexión de la CV-13 con la futura autovía CV-10 hacia el norte de la provincia.

Descripción de la actuación

La CV-13 discurre desde el interior de la provincia (proximidades de Benlloch) por una zona poco poblada hacia la costa (Torreblanca), pasando por el aeropuerto de Castellón y afectando a los municipios de Vilanova d'Alcolea, y Alcalá de Xivert. La orografía de la zona es relativamente accidentada, siendo ésta, una característica de las estribaciones montañosas interiores de la Comunidad Valenciana anexas a la plana litoral.

La longitud total del trazado es de 16,5 km, y su finalidad es la de facilitar la conexión entre el corredor mediterráneo (compuesto por la AP-7 y la N-340) y el eje vertebrador interior de la provincia constituido por la CV-10, y al mismo tiempo facilitar la conexión del nuevo aeropuerto con la red viaria.

Así se proyecta la nueva carretera CV-13 como una autovía A-100, con una capacidad de tráfico de 50 000 veh/día y un tráfico de pesados T0.

Las obras finalizadas corresponden a esta autovía entre el pk 0+000 y el enlace del aeropuerto, p.k. 2+500, y a la primera calzada de la futura autovía: desde ese p.k. hasta el enlace con la N-340/AP-7. Así pues, se trata de una vía interurbana sin accesos a las propiedades colindantes, y cuyas condiciones orográficas corresponden a un relieve accidentado.

Se construye de forma definitiva, por

su diseño para autovía: la estructura para el enlace de Vilanova d'Alcolea, las cinco estructuras correspondientes al paso bajo la autopista AP-7 y el enlace con la N-340/AP7.

La sección transversal de la carretera está compuesta por dos carriles de 3,50 m



Esquema de trazado.

Infraestructuras Viarias

con arcenes asimétricos de 1,50 m y 2,50 m, interior y exterior respectivamente, y bermas de 1,00 m. Así pues, la anchura total de la plataforma será de 13,00 m.

Dicha sección esta preparada para constituir la primera calzada de la futura autovía CV-13, habiéndose redactado ya en estos momentos el proyecto básico de la segunda calzada, que está pendiente de Declaración de Impacto Ambiental.

La sección del firme se ha diseñado para ser capaz de absorber un tráfico T0 y está compuesto por 30 cm de suelo estabilizado en coronación de explanada, 25 cm de suelo cemento y 20 cm de mezclas bituminosas en caliente.

La carretera discurre desde los 330 m de altitud, en las proximidades del aeropuerto, hasta prácticamente el nivel del mar (30 m), en apenas 13 km. Este hecho ha motivado que el perfil longitudinal de la carretera tenga pendientes y rampas próximas al 5%, lo que ha originado la creación de un tercer carril para vehículos lentos, de 2 700 m de longitud, en uno de sus tramos.

A su vez, la orografía es también la responsable de la necesidad de ejecutar hasta un total de 4 viaductos, de diversas longitudes, destacando el viaducto 6, con 5 vanos de 40 m y pilas de hasta 41 m de altura.

El resto de estructuras, hasta completar las 15 finalmente ejecutadas, están ligadas con los enlaces y pasos superiores e inferiores en cruces a distinto nivel. En particular, podemos mencionar las cinco estructuras que han sido necesarias para resolver el paso por debajo de la autopista AP-7: dos para las calzadas, una para el ramal de aceleración en sentido a Barcelona y otros dos para los caminos de servicio existentes en los márgenes de la autopista.

Las conexiones de la CV-13 con las infraestructuras existentes obligaron a la construcción de un total de cinco enlaces:

- Enlace con la N-340/AP7. Rotonda elevada de 190 m de diámetro exterior.
- Semienlace de Torreblanca. Enlace con la CV-145, únicamente para vehículos ligeros, y que conecta dicha población con la CV-13 en sentido a la CV-10.
- Enlace de Vilanova d'Alcolea. Enlace completo de pesas con todos los movimientos y que conecta también con la CV-145.



Enlace con la N-340 y la AP-7 en Torreblanca.

- Accesos al Aeropuerto de Castellón. Enlace tipo trompeta con todos los movimientos.
- Conexión con la CV-10. Enlace de autovías con ramales directos unidireccionales. Los movimientos con el norte de la CV-10, a la espera de la prolongación de dicha infraestructura, se resuelven mediante un enlace de pesas, que sirve a su vez de conexión de Benloch con la CV-13.

Medidas medioambientales

De acuerdo con la Declaración de Impacto Ambiental, y en coordinación con la *Conselleria* de Medioambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda y los Servicios Territoriales de Medioambiente de Castellón, las obras han respetado al máximo los periodos de nidificación del Aguilucho Genizo y del Águila Culebrera.

Asimismo se ha procedido al trasplante de los ejemplares de especies vegetales afectadas por la traza, entre los que destacan palmitos, olivos y encinas.

Además se han ejecutado otras medidas de integración medioambiental y de paisaje como la plantación de los taludes de desmonte en aquellas bermas en las que por su anchura sea factible, la revegetación de márgenes y taludes de terraplén, la reutilización de piedra de los ribazos, la implantación de pasos de fauna y de pantallas acústicas, etc.

Sostenimiento de taludes

La heterogeneidad de los materiales excavados, su elevado grado de meteorización y fracturación, las frecuentes discontinuidades geotécnicas y la alternancia típica de materiales de la zona atravesada, obligó a tomar un conjunto de medidas en aras a garantizar la estabilidad de los taludes de desmonte y evitar que un posible desprendimiento pueda afectar al tráfico.

La Dirección de obra, en colaboración con el Departamento del Ingeniería del Terreno de la Escuela Superior de Caminos, Canales y Puertos de la U. P. de Valencia, ha realizado un estudio singular donde se recogen un conjunto de medidas particularizadas para cada uno de los desmontes y cada uno de los márgenes.

Dichas medidas han consentido fundamentalmente en un reperfilado cuidadoso de los taludes, fijando los medios de excavación, barrenadora y voladura o medios mecánicos. Otras medidas contempladas en dicho estudio son la ejecución de muros de escollera para restituir tramos de talud inestables, colocación de malla de triple torsión y bulones para evitar desprendimientos, y revestimiento de zonas de falla o inestables con gunita armada.

Seguridad vial

Los problemas Seguridad Vial de la nueva carretera están ligados a la orografía

del terreno, existencia de fuertes rampas y pendientes, y a altos desniveles creados por el trazado de la carretera en zonas de terraplenes y estructuras.

De tal forma que se han previsto una serie de medidas para prevenir las colisiones por alcances de vehículos ligeros en las zonas de rampa, los problemas de frenado de los vehículos pesados en las zonas de pendientes y las salidas de la vía. Por ello, se han dispuesto paneles flúor para advertir a los conductores del peligro por pendientes prolongadas y de alcances, anticipándose carteles flúor para que, entre otras cosas, el vehículo que quiera adelantar no se precipite en una maniobra arriesgada. También y para prevenir salidas de la vía, se incrementan los sistemas de contención anticipando pretilles en todos los viaductos y pasos inferiores.

Finalmente y en cuanto a la percepción del trazado por parte del usuario, se implantan "ojos de gatos" en el ámbito de los enlaces, tanto en tronco como en ramales; de hitos de arista cada 50 m, reforzados en aquellos tramos en curva que no dispongan de ningún sistema de contención, en cuyo caso se disponen cada 25 m; y captafaros catadióptricos en bionda.

Sistemas Inteligentes de Transporte para la seguridad vial

Como complemento al equipamiento de la carretera y con el objetivo de mejorar la seguridad vial, la infraestructura se ha dotado de una completa instalación ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) de vigilancia y control convencional, que facilita la monitorización por imágenes del 100% de la carretera, la sensorización de los vehículos con determinación direccional para los enlaces principales, la aportación de información al usuario allí donde puede tomar decisiones de itinerarios, un sistema escalable, que en segunda fase aporta información del tiempo de recorrido para el tramo Torreblanca – Castellón, la creación de un anillo de comunicaciones TCP/IP con los elementos de campo y conexión redundante con el *Centre de GEstió i SEguretat Viària (CEGESEV)* de Paterna y Sala de la Dirección General de Tráfico (DGT) en Valencia, entre otros.

Ficha técnica

Titular:
Generalitat Valenciana. Conselleria d'Infraestructures i Transport
Órgano gestor:
Dirección General de Obras Públicas
Director de la obra:
D. Francisco Zamarbide García, ICCP
Asistencia técnica redacción de proyecto:
I.V. Ingenieros Consultores D. Manuel Carda Batalla, ICCP
Empresa constructora:
FCC-BECSA
Gerente de la UTE:
D. Alfonso Mascagni Clemente, ICCP
Jefe de obra:
D. Francisco García Novillo, ICCP
Asistencia técnica, control y vigilancia de las obras:
INDECAS-CIOPU
Jefe de Unidad:
D. Pedro Rodríguez, ICCP

CV-10. Tramo La Pobra de Tornesa-Cabanes Norte

Estado actual

En la actualidad, la intensidad de tráfico de la CV-10 disminuye sensiblemente una vez rebasada La Pobra Tornesa. Antes de acceder a esta población, desde el sur, los aforos indican una intensidad de vehículos que supera los 15 800 vehículos diarios.

Entre La Pobra Tornesa y Cabanes, la intensidad está próxima a los 8 800 vehículos diarios, prosiguiendo con una lenta disminución hacia el norte: 6 800 vehículos

diarios al norte de Les Coves de Vinromá y 3 000 vehículos al norte de la Salzadella.

La sección actual es de 7,00 m de anchura, con arcenes de 1,50 m y pequeñas bermas laterales. El firme se encuentra en aceptable estado de conservación.

La travesía de Cabanes constituye el tramo más penoso para el usuario de la CV-10 en el segmento que nos ocupa, pues, a la preceptiva disminución de velocidad, se une la existencia de muchos accesos directos a lo largo de este tramo de travesía.

El control de accesos es completo a lo largo de todo el tramo, salvo contadas excepciones y al margen, lógicamente, de la travesía de Cabanes. Los accesos localizados están resueltos mediante intersecciones: bien en Y (acceso a Benloch) con rondas (acceso Sur a Cabanes y a la zona industrial), o mediante glorietas partidas.

Descripción de la actuación

Las obras se sitúan en los términos municipales de La Pobra Tornesa, Cabanes y Benloch, en la comarca castellonense de La Plana Alta, y consisten básicamente en la conversión en autovía del tramo de la CV-10 situado entre La Pobra Tornesa y la intersección proyectada para dar acceso a la CV-13 y las instalaciones aeroportuarias, en el término municipal de Benloch.

Se trata de una autovía de nuevo trazado con una velocidad de proyecto de 120 km/h, cuya sección tipo está formada por dos calzadas separadas de 7,00 m de anchura con arcenes exteriores de 2,50 m e interiores de 1,50 m, y bermas laterales de 0,75 m. La mediana es amplia, en general con una anchura de 12,00 m.



Infraestructuras Viarias

Características y unidades de obra más importantes	
Radio mínimo	700 m
Pendiente máxima	4%
Longitud del tronco CV-10	9 990 m
Longitud autovía conexión aeropuerto	2 133 m
Longitud ramales	7 578 m
Longitud caminos y servicios	14 193 m
Velocidad específica tronco	120 km/h
Sección tipo actual	7/10
Sección tipo propuesta	2 x 7 m
Arcenes exteriores	2,50 m
Arcenes interiores	1,50 m
Mediana	12,00 m
Berma	0,75 m
Número de enlaces: Tipo: 2 Enlaces tipo "pesas" con dos glorietas inferiores 1 enlace tipo trébol con dos movimientos inversos 1 enlace entre autovías	5
Desmante:	1 147 000 m ³
Terraplén	2 147 000 m ³
Suelo estabilizado	145 000 m ³
Suelocemento	100 000 m ³
Zahorra artificial	38 000 m ³
Mezclas bituminosas	187 500 t
Hormigones	49 500 m ³
Acero	2 050 000 kg
Presupuesto de obra	40 098 231,47 €
Presupuesto de contrato	49 511 531,52 €



Enlace con Pobra Tornesa Norte y conexión con la CV-15.

Las obras se inician, por el sur, en el enlace de acceso norte a La Pobra Tornesa. Este enlace I, de tipo "pesa" con dos glorietas inferiores, se encontraba construido con una única calzada, pero con la previsión de duplicación que ahora se ha ejecutado.

Una vez superado este enlace, la autovía se dirige en sentido noreste hacia el Coll de Cabanes. En este tramo inicial se aprovecha en lo posible la plataforma de la

actual carretera, efectuando la duplicación por su margen derecha y ampliando la mediana en la medida de lo posible, para reducir la afección al gaseoducto existente.

En cumplimiento de lo indicado en la Declaración de Impacto Ambiental, se han llevado a cabo en este tramo unas prospecciones arqueológicas intensivas de las zonas de especial protección arqueológica del Pla de la Pitja y el Coll de Cabanes.

El Coll de Cabanes debe ser rebasado con la ejecución de desmontes de escasa entidad y, nada más superarlo, se realiza el enlace II consistente en una única glorie-

ta de 60 m de radio, situada en desmante sobre la que cruza el tronco principal en terraplén. Este segundo enlace sirve para entroncar una futura biela de conexión entre la CV-10 y la CV-148, Oropesa-Cabanes, que permitirá una salida más ágil desde La Pobra Tornesa hasta el litoral.

Debido a la proximidad entre los enlaces I y II, el tramo comprendido entre ellos se realiza con tres carriles por sentido, de modo que el tercer carril que se adosa hace las funciones de carril de trenzado de los ramales correspondientes de ambos enlaces colindantes.

Después de este enlace II, la autovía prosigue hasta Cabanes aprovechando la carretera actual, como parte de la calzada izquierda, y efectuando la duplicación por la margen derecha. En este tramo, y hasta el final del trazado, la mediana mantiene una anchura constante de 12,00 m.

En el cruce de la CV-10 con la CV-148 se ha ejecutado el enlace III, con el que se inicia la variante de Cabanes. Este enlace consta de una glorieta en cada margen del tronco principal, ambas a nivel del terreno y unidas por un vial bidireccional que pasa sobre la autovía.

En este enlace se produce el acceso Sur a Cabanes, permitiendo también los accesos a su polígono industrial y conectando asimismo con La Vall d'Alba y con Oropesa, a través de las carreteras CV-159 y CV-148.

La variante de Cabanes discurre a unos 400 m al oeste del casco urbano. Su perfil longitudinal se ha proyectado en



Enlace con la futura carretera CV-1487, Cabanes-Oropesa.

terraplén, obligado por la presencia de diversos condicionantes, tales como el paso transversal inferior de la Colada del Pou del Bou, el cruce sobre el barranco de Ravachol, la presencia de una zona inundable en sus márgenes y el paso transversal inferior del Cordel del Arco Romano.

El cruce con la carretera CV-157 a la Vall d'Alba y al Arco de Cabanes se ha ejecutado mediante un paso superior de esta carretera sobre la traza de la autovía.

La variante finaliza en el enlace IV de acceso Norte a Cabanes, de tipo "pesa" con glorietas a ambos lados, y con un paso superior del tronco principal sobre el vial bidireccional que las une.

En este enlace IV, el tráfico que proceda o se dirija hacia Coves de Vinroma deberá incorporarse o salir de la autovía hasta que no se produzca su prolongación hacia el norte por parte del Ministerio de Fomento.

Al norte del mencionado enlace IV se abre también al tráfico un tramo que concluye en el enlace V, el cual permite conectar la Autovía CV-10, que comunica a su vez con las instalaciones aeroportuarias y Torreblanca.

La filosofía de este enlace V, en el que finaliza el trazado de la presente obra, es que de cada uno de los sentidos de circulación existentes se desprendan ramales directos (de uno o dos carriles) que busquen las dos alternativas posibles de continuidad.

Los ramales de dos carriles, diseñados



Paso superior de la carretera provincial CV-157, acceso al Arco de Cabanes.

para una velocidad de 100 km/h, son los que conectan la CV-13 con la CV-10 en sentido a Castellón; mientras que los de conexión CV-13 con CV-10, en sentido a San Mateo, son de un único carril y se han diseñado para 80 km/h. Estos últimos ramales no son objeto del presente proyecto y se deberán ejecutar en la siguiente fase de prolongación de la autovía.

Una vez despegados del tronco de la autovía los ramales de conexión con la CV-13, aproximadamente en el p.k. 10+000, se finaliza la ejecución de dicho tronco quedando la calzada de la autovía preparada

para su futura prolongación hacia el norte.

Cuando se realice esta prolongación deberá completarse el enlace entre la CV-10 y CV-13 con la ejecución de los dos ramales de conexión hacia el norte.

Junto a este enlace de autovías se ha proyectado un enlace secundario tipo "pesas" que permitirá las conexiones de Benlloch con la Autovía CV-13 y el Aeropuerto. ❖

Ficha técnica

Titular:

Generalitat Valenciana.
Conselleria d'Infraestructures i Transport

Órgano gestor:

Dirección General de Obras Públicas

Director del contrato:

D. Miguel Llorens Alcón, ICCP

Director de la obra:

D. Manuel Carda Batalla, ICCP

Asistencia técnica redacción de proyecto:

AMINSA

Empresa constructora:

UTE Poble Tornesa: FCC-BECSA

Gerente de la UTE:

D. Alfonso Mascagni Clemente, ICCP

Jefe de obra:

D. Gerardo Cruz Serrano, ICCP

D. Agustín Cervera, ICCP

Asistencia técnica, control y vigilancia de las obras:

I.V. Ingenieros Consultores



Enlace con la actual CV-10, tramo norte.



Historia

Desde el 31 de enero de 1961, fecha en la que se constituyó Ortiz y Cía. S.L., empresa matriz del Grupo Ortiz, han pasado 50 años. Desde entonces, una empresa con un capital social muy pequeño y dedicada a la ejecución de todo tipo de pequeñas obras, centradas en la conservación, mantenimiento y reparación de infraestructuras, fue ampliando su área de actividad, cuyo origen fue las cercanías a Madrid, y en lo que hoy son las Comunidades de Castilla-La Mancha y de Castilla y León.

Desde entonces hasta nuestros días, el Grupo Empresarial Ortiz, S.L. se ha convertido en uno de los grupos empresariales más consolidados del sector de la construcción, con cinco líneas principales de negocio: construcción, inmobiliaria, concesiones, energía e internacional y con más de 1.900 trabajadores.

Pero hasta llegar a esta situación, el Grupo Ortiz ha ido progresando como lo hizo el país. Baste recordar los nuevos Planes de Desarrollo de 1963, que supusieron un gran impulso a la construcción, previos a la transformación en 1970 de la empresa matriz de sociedad limitada a anónima, y año en el que dio comienzo una década difícil, con crisis económica e institucional, consecuencia de los grandes cambios políticos que se producirían.

Sin embargo, la década de los ochenta marcó un punto de inflexión en las actividades de la empresa que, hasta la fecha, tan sólo había sobrevivido a tiempos tan difíciles a base de esfuerzos importantes. La necesidad de cubrir otras áreas y sectores anima a Ortiz y Cía, S.A. a crear otras dos empresas: Condisa (1987), especializada

Empresa:	Grupo Ortiz
Direcciones:	Avenida del Ensanche de Vallecas, 44 28051 Madrid
	info@grupoortiz.es - www.grupoortiz.es 913 431 600
Año fundación:	1961
Volumen de negocio:	Año: 2009: 568 millones de euros Año: 2010: 576 millones de euros
Recursos humanos:	Construcción: 1.553 Energías: 275 Área Inmobiliaria/Concesiones: 49 Internacional: 23 Total: 1.900 personas
Sectores:	Infraestructuras - Medioambiente - Edificación - Energías - Concesiones
I+D+i:	Sistemas prefabricados estructurales

en trabajos de rehabilitación y restauración monumental, e Inditec (1988), dedicada a trabajos medioambientales.

Tras finalizar la década en una situación difícil para el sector, como lo fueron también los primeros años 90, y con grandes dificultades por la falta de liquidez que sufrían las empresas, debido al retraso en los pagos de certificaciones de obra, al fin, a partir de mediados de los 90 el Grupo cambia su sede (1995), y tras la creación de pequeñas empresas especializadas como Indagsa (1991), Iberproin (1994), Agricasa (1997), Urbanizadora Gade (1997) y Prorax (1991), a finales de esa década la empresa Ortiz va constituyendo su Grupo y se posiciona claramente en el sector inmobiliario, antes de que se produzca la expansión del crédito bancario, y financiando las compras de terrenos con recursos propios, pagos diferidos o cesión de parte de los derechos edificatorios.

En la segunda mitad de la primera década del siglo XXI, el crecimiento y diversificación de la compañía era ya un hecho, constituyéndose o comprando nuevas empresas, especialmente en el año 2003, como Asteisa, Ortiz Inmobiliaria, Inmuebles Gade, Proakis, a las que se fueron suman-

do Icma (2004), Arian y Fortem (2005), Emca (2006) y Cosfesa (2007). A éstas, y ya considerado el Grupo Ortiz como una empresa con gran proyección de mercado, se les unirían Elecor y Elecfire (2007), Juan Galindo T&D y TRS (2009), Impulsa Grupo Ortiz (2009), y finalmente, con una clara proyección internacional, Ortiz International Investment, así como la compra de las acciones en la que hoy se denomina Grupo EOM que opera en Perú.

Por todo ello, el Grupo Ortiz, a través de un crecimiento responsable, fruto de la capacidad de anticipación y de desarrollar un modelo de gestión empresarial basado en la eficacia, eficiencia y crecimiento, con una política de bajo endeudamiento, limitación y control de riesgos empresariales, unido a una diversificación paulatina, constante y adecuada, han hecho posible que Grupo Ortiz esté considerada como una de las empresas con mayor proyección de mercado, siendo reconocida como la decimotercera en cifra de negocio dentro del sector de la construcción, la octava en recursos propios entre las constructoras, la novena por capital suscrito y la séptima por valor inmovilizado.

En la actualidad Grupo Ortíz cuenta con

Delegaciones en Asturias, Andalucía, Castilla La Mancha, Castilla y León, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Galicia, Islas Baleares y La Rioja siendo el detalle de sus áreas de negocio los siguientes:

Construcción

- Obra civil. Carreteras
- Ferrocarril
- Edificación y Rehabilitación
- Servicios
- Medio ambiente

Energía

- Energías renovables
- Servicios energéticos
- Líneas distribución y transporte
- Mantenimientos integrales
- Instalaciones

Inmobiliaria

- Vivienda protegida
- Vivienda en alquiler con opción a compra
- Vivienda libre

Concesiones

Internacional:

- Europa: Bulgaria, Hungría, Italia y Polonia
- Latinoamérica: Colombia, Perú y próximamente en Brasil, Chile y México



Tramo Herrera de la Mancha-Argamasilla de Alba, de Autovía A-43, Ciudad Real



Ronda Este de Aranda de Duero, cruce A-1 con la BU-925

Expansión internacional

Durante 1999, el Grupo Ortiz fue preparando su infraestructura para ampliar su radio de acción y su presencia fuera de nuestras fronteras, dentro de un plan de diversificación que desde hacía ya años venía preparando el Grupo. Pero, para su expansión internacional, se tuvieron que valorar numerosas propuestas y factores: desde la estabilidad jurídica y política del país donde se pretende implantar la empresa, hasta la necesidad de esos países por desarrollar infraestructuras, pasando por la existencia de socios locales que valoren la solvencia técnica y económica de cada una de las áreas de negocio del Grupo.

El primer paso, tras cristalizar las negociaciones con la empresa constructora peruana EHM -compuesta por el Grupo Espinosa, Grupo Hernández y Grupo Marsano-, fue la adquisición del 25% del capital de esa empresa. De esta manera, la nueva firma pasó a denominarse EOM Perú y el Grupo empezó a ser operativo en aquel país andino. También y a finales de ese mismo año, adquirió el 50% de la construcción de una planta fotovoltaica de 1 MW, ubicada en Lecce (Italia), y que representó su llegada, representada por ELECOR, al país transalpino. Esos fueron los primeros pasos, pero sin duda al año 2010 se le puede calificar como determinante para la ampliación de fronteras. Un año en el que ha visto nacer

Ortiz Colombia que ya se encuentra ejecutando contratos en Bogotá, como el "Malla Vial Sector 4" por un importe superior a los 40 millones de euros. Y pronto lo hará en Chile y México.

Pero no sólo en Latinoamérica, también el desarrollo presencial en Europa está siendo determinante. En Italia, Agricasa posee el 50% del accionariado de la empresa MED Solar SPV 10, y, a través de esta firma, empresas del Grupo como Elecor o Juan Galindo T&D, entre otras, están realizando trabajos en diversas plantas fotovoltaicas al Sur de Italia: en Lecce, Monteruga y Masseria Ricciardi, las tres en la región de Puglia.

También en Polonia, Hungría, Bulgaria y en breve en Rumanía, está representado el Grupo, a través de sus empresas Ortiz Polska y Ortiz Electra. En el primero de los países se opta a contratos de ferrocarril, energía y tratamiento de aguas, mientras que en Hungría y Bulgaria la actividad se centra en contratos de carreteras y ferrocarriles, conservación de líneas férreas y planes de saneamiento y depuración de aguas.

Por ello, aunque según las cifras provisionales referidas a 2010 no alcanzan el 2% del volumen de negocio del Grupo, la necesaria expansión de su actividad en el exterior tan sólo acaba de comenzar y muestran un futuro alentador.

Infraestructura viaria

Dentro de la Obra Civil, entre los proyectos de infraestructura viaria más destacados del grupo se pueden citar la segunda calzada del tramo Salas-La Espina de la Autovía A-63 (Asturias), la autovía del Nuevo Accesos al aeropuerto de Ibiza (Balears), la Ronda Este de Aranda de Duero (cruce de la A-1 con la BU-925, Burgos), el enlace entre el Eje N-100- O'Donnell y la M-30 (Madrid), la Gran Vía del Ensanche de Vallecas (Madrid), la mejora del trazado y la ejecución del puente Villasimpliz (León), el Puente "Presidente Rodríguez Ibarra" sobre el río Guadiana en Villanueva de la Serena (Badajoz), la remodelación del Acceso a Alcalá de Henares desde la M-300 (Madrid), el tramo Herrera de la Mancha-Argamasilla de Alba en la A-43 (Ciudad Real), y otros.

En cuanto al sector ferroviario, Grupo Ortiz cuenta con clientes como el ADIF, FEVE (Ferrocarriles Españoles de Vía Estrecha), Metro de Madrid, Euskal Trenbide Sarea, o las Juntas de Obra del Puerto de Gijón, del Puerto de A Coruña o del Puerto de Avilés, entre otros.

Como contratos más destacados, se puede destacar el contrato de primeras intervenciones que COSFESA mantiene en Galicia y el que, desde el año 2008, tiene en Extremadura para todas las incidencias que puedan producirse en su red ferroviaria.

Entre los proyectos destacados, además de los citados, se pueden citar: Las Maravillas - Bobadilla (Málaga); Polígono San Ciprián - Das Viñas (Ourense); los falsos túneles en el trayecto San Quirce de Besora-Ripoll y en la línea Madrid-Badajoz, o las obras de compleja ejecución, como la plataforma de conexión ferroviaria entre Perafort y Alcover, en la provincia de Tarragona, correspondiente al enlace de conexión del corredor mediterráneo con la línea del AVE Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Además y en Andalucía, también se pueden destacar los proyectos que se están desarrollando en Andalucía, concretamente, la prolongación de la Línea 1 del Metro de Sevilla, tramo Adufe-Montecarmelo; o el tramo Renfe-Guadalmedina de las Líneas 1 y 2 del Metro de Málaga, así como diferentes actuaciones de creación y ampliación de estaciones ferroviarias y de metro.

Construcción

La actividad se complementa con un amplio abanico de actuaciones de edificación civil, en la construcción de urbanizaciones, diversas obras de infraestructura hidráulica, rehabilitación de zonas urbanas y diseño y construcción de aparcamientos, restauración del patrimonio histórico y medioambiental, construcción industrial como la de subestaciones eléctricas, plantas de regeneración, y termosolares como "La Africana" en Córdoba.

Así mismo, se destaca la construcción de su nueva sede: edificios singulares diseñados para un mayor ahorro y eficiencia energética, así como el empleo de nuevas energías sostenibles.

La energía y los servicios energéticos, así como su mantenimiento integral; y su amplia experiencia inmobiliaria en construcción de vivienda libre, en alquiler con opción a compra o protegida, cubren el amplio espectro de sus áreas de negocio.

Concesiones

A pesar de que ha sido en los últimos años, cuando el Área de Concesiones ha experimentado una mayor actividad y crecimiento, lo cierto es que para el Grupo no es

un negocio desconocido, ya que empezó a invertir en Concesiones ya en 1997, cuando desarrolló proyectos de construcción de viviendas de alquiler para el IVIMA. Tras estos años de experiencia, el área basa su actividad en distintos mercados. En el sector de carreteras y autopistas, es parte accionarial de la empresa Accesos de Ibiza, S.A., que construyó, conserva y explota el tramo de autovía que une San Antonio con el aeropuerto de la isla de Ibiza, y de la concesionaria Viario A-31, que mantiene un contrato de conservación del tramo Bonete-Alicante, de la A-31, con el Ministerio de Fomento, gestionando más de 118 km de autovía.

La actividad se complementa con la explotación de 7 parkings, con 2.387 plazas en explotación; estaciones depuradoras como la de Ribadeo, centros culturales como "La Rambleta" (Valencia), o el polideportivo "Andrés Torrejón" de Móstoles.

Para finalizar con este capítulo, hay que reseñar el Área de Energía, donde se destaca el proceso de construcción y explotación de una planta de energía termosolar de producción eléctrica, "La Africana", situada en los términos municipales de Fuente Palmera, Guadalcazar y Almodóvar del Río, en la provincia de Córdoba de 50 MW de potencia y una inversión cercana a los 380

millones de euros. Además, el Grupo ya tiene varias plantas de energía fotovoltaica en explotación en Extremadura, Cuenca, Málaga; y en construcción las que se está terminando de instalar en el Sur de Italia.

I+D+i

El Grupo ha obtenido un crecimiento sostenido siempre gracias las técnicas más avanzadas, los "instrumentos" de última generación para realizar los cálculos correspondientes con el fin de adaptarse e incluso adelantarse a los cambios que reclama la sociedad. La aplicación de dichos compromisos se asegura a través de un sistema de gestión de I+D+i certificado conforme a la norma UNE 166002:2006, en el que se enmarcan los procesos de vigilancia y previsión tecnológica, análisis y selección de ideas y gestión de proyectos, fruto de la aplicación del compromiso social adquirido por la empresa. Además de numerosos proyectos desarrollados en las áreas energética, tratamiento de aguas, prevención de riesgos laborales, etc., dentro de la ingeniería constructiva, se pueden destacar los desarrollos de diversos modelos para:

- La determinación de la durabilidad de estructuras de hormigón frente a la corrosión.
- La caracterización del comportamiento de paneles esbeltos.
- El diseño y desarrollo de un nuevo sistema de apoyo de forjados en paneles prefabricados portantes.
- El análisis del comportamiento estructural de anclajes metálicos incorporados a elementos de hormigón prefabricados.
- El diseño y desarrollo de un sistema constructivo industrializado aplicado a la edificación, denominado "Sistema industrializado Ortiz".

Dentro de la construcción, se destacan:

- El nuevo sistema de inspección, mantenimiento y reparación de puentes.
- El desarrollo de un nuevo procedimiento geofísico combinado para la caracterización geotécnica de suelos conflictivos.
- El análisis temporal de modelos tridimensionales de geo - radar para el estudio, construcción, seguimiento de plataformas y obras lineales.

Urbanización de Valdebebas, lote 11-2, Madrid.



Empresa y Tecnología

- El diseño de una modelización numérica en 3D para la simulación del comportamiento de las transiciones terraplén - estructura.

Así mismo y fieles a la filosofía de transparencia, Grupo Ortiz diseña documentos, crea soportes e imparte conferencias para intercambiar conocimientos y experiencias en este ámbito.

Situación económica actual

A pesar del difícil contexto económico del año 2010, el Grupo ha despuntado dentro de su sector gracias a una política de bajo endeudamiento, limitación y control de gastos empresariales, lo que ha hecho posible no sólo mantener, sino aumentar su cifra de negocio respecto a ejercicios precedentes. La política llevada a cabo de diversificación sectorial y geográfica, tanto nacional e internacional, han sido los pilares de su equilibrio económico. Si el volumen de negocio en 2009 alcanzó los 568 millones de euros, para 2010, y a pesar de lo antedicho, se ha alcanzado la cifra provisional de 576 millones de euros, gracias, entre otros, al fuerte impulso del sector de la energía, con la consecución de importantes contratos como la construcción de una planta termosolar en Córdoba, y siendo destacable además, que las sociedades adquiridas por el Grupo en el 2009 del sector energético, Juan Galindo, S.L. y Tendidos y Redes del Sur (TRS), han incrementado su cartera de pedidos en un 191% respecto a resultados de años anteriores.

Por otro lado, el área de construcción, que aún supone el 78% de la cifra de negocio del grupo, mantiene una estabilidad en sus ingresos, a pesar del claro retroceso de la inversión pública en infraestructuras. Incluso su cartera de pedidos ha aumentado con respecto a años anteriores, lo que asegura la producción de 2 años a partir del presente año. ❖

Líneas de negocio/Estructura societaria (100%)				
Construcción	Energía	Inmobiliaria	Concesiones	Internacional
Ortiz Construcciones	Ortiz Energía	Ortiz Área Inmobiliaria	EMCA	Ortiz International Investment
Impulsa	Elecor	Prorax	Concesionaria Collado Villalba	Ortiz Perú
Condisa	Juan Galindo T&D	Agricasa	Agueda Educatís	Ortiz Colombia
Inditec	Tendidos y Redes del Sur	El Arce de Villalba		Ortiz Polska
Asteisa				Ortiz Elektra
Indagsa				Ortiz Chile
Cosfesa				
Icma Proakis				
Líneas de negocio/Estructura societaria (≤ 50%)				
Arian	Alten	Urbanizadora Gade	Viario A-31	EOM Perú
Expociencia	I. Navacerrada	Inmobiliaria Gade	Accesos de Ibiza	MED Solar SPV10
	I. Cadena		Bulevar de Arte y Cultura de Gestión	



Puente "Presidente Rodríguez Ibarra", en Villanueva de la Serena.

Jornada técnica sobre: Experiencias recientes en estructuras de tierra para infraestructuras viarias

El 10 de febrero de 2011 tuvo lugar en el *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* de Madrid esta jornada promovida por el *Ministerio de Fomento* y organizada por la *Asociación Técnica de Carreteras*, con la colaboración del citado Colegio.

El acto de inauguración fue presidido por **D. Fernando Pardo Santayana**, *Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX*, acompañado por **D. Carlos Oteo Mazo**, *Director Técnico de la Jornada y Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC*, y **D. Roberto Alberola García**, *Presidente de la ATC*.

La jornada comenzó con la ponencia "**Las obras de tierra en el Comité Europeo de Normalización: primeros pasos en común**", de **D. Álvaro Parrilla**, del *Ministerio de Fomento*. Para el ponente, las obras de tierra, entendiéndose como tales rellenos y desmontes, se regulan en cada país a través de normas nacionales, por lo general, difícilmente extrapolables de unos Estados a otros.

Desde 2009 un nuevo comité, el CEN TC 396 *Earthworks*, se encarga de la normalización de las obras de tierra en Europa, en lo que constituye un esfuerzo pionero por intentar alcanzar un futuro texto común en el continente. El comité pretende la redacción de una serie de normas europeas EN sobre obras de tierra.

Está dividido en cinco grupos de trabajo: WG 1. Aspectos generales, WG 2. Clasificación de suelos y rocas para obras de tierra, WG 3. Procedimientos constructivos, WG 4. Control de calidad y WG 5. Rellenos hidráulicos, encargados monográficamente de las diferentes partes de la futura norma europea, trabajos que aún se encuentran en un estadio preliminar, pero que apuntan ya hacia un posible horizonte común.

Dña. Rebeca Carabot Moreno, del *Ministerio de Fomento*, intervino con la ponencia "**Aproximación a la campaña geotécnica en los proyectos de carretera**". En ella afirmó que la geología y la geotecnia constituyen partes esenciales en la redacción de un proyecto, tanto por la influencia que ejercen como condicionantes de trazado, como por la repercusión económica que suponen las incertidumbres derivadas del terreno.

La Dirección General de Carreteras ha puesto en marcha una serie de trabajos con los que pretende optimizar la campaña geotécnica durante la fase de redacción de los proyectos. Por una parte, se está revisando el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para estandarizar la definición y el abono de la campaña; y, por otra, se están intentando establecer unos criterios que posibiliten el desarrollo de una aplicación informática que efectúe una estimación inicial de dicha campaña.

En definitiva, se trata de conocer, con la mayor exactitud posible, el terreno y los materiales que en él se encuentran, reconocerlo realmente, analizar los resultados de dicho reconocimiento e interpretar adecuadamente la realidad geológico-geotécnica que se mostrará en el momento de ejecutar una obra.

La ponencia "**Filosofía del diseño y ejecución y su patología**", de **D. Carlos Oteo Mazo**, *Presidente del Comité Técnico de Geotecnia Vial de la ATC*, comenzó con una introducción histórica hablando de la relación firme – terraplén y del tema de la compactación, cuyo fin es colocar en un volumen aparente el máximo volumen de sólidos, teniendo en cuenta la presencia de agua, propugnando que se debía intentar ir a un firme que se adapte al terraplén y al terreno subyacente, aprovechando al máximo el material a emplear en el terraplén y no obsesionarse con el ensayo Proctor. Tras referirse, entre otras, a la influencia del agua, que lubrica, pero que en exceso aumenta la presión intersticial, calificó al PG-3 como una guía útil para la dirección de obra, pero que no era inamovible. Posteriormente fue desmenuzando diversas situaciones y ejemplos relativos, entre otros, a la utilización de materiales marginales, rellenos en el trasdós de estructuras, apoyos sobre suelos colapsables y sobre cavidades cársticas, etc; y subrayando la validez y necesidad de realizar una adecuada auscultación del terreno.

Entre otras conclusiones, el profesor Oteo destacó la necesidad de aprovechar todo tipo de materiales, de aplicar unos adecuados criterios de control y atender especialmente a temas como terraplenes zonados o reforzados, la influencia de la



D. Illán Paniagua Serrano
D. Rafael Pérez Arenas
D. José A. Ramos
D. Enrique Gómez de Priego
D. Francisco J. Castanedo Navarro
D. José Luis García de la Oliva

precarga en un terraplén, la importancia de un refuerzo en la base, la irrenunciable realización de un profundo estudio sobre posibles patologías del terreno y, como ya dijo, la necesidad y conveniencia de auscultar el terreno en el que se va realizar la obra.

D. José Luis García de la Oliva (ponente) y **D. Eduardo Santiago Recuerda**, del *CEDEX*, presentaron "**Comparación de diferentes métodos de control de compactación del subbalasto**" describiendo los trabajos llevados a cabo por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, destinados a estudiar métodos de control del grado de compactación y módulo de deformación del subbalasto alternativos al método de la placa de carga estática, contemplado actualmente en los pliegos de ADIF. En relación con la placa de carga estática, el criterio referido al módulo E_{v2} no parece proporcionar información sobre el grado de compactación del subbalasto alcanzado, ya que se cumple para tongadas de subbalasto muy deficientemente compactadas. Por otro lado, el criterio contemplado en el anterior Pliego PGP 2006, referente al parámetro E_{v1} , es más adecuado que el definido en el pliego PGP-2008.

Así mismo, el criterio basado en la placa de carga estática debiera replantearse intentando encontrar métodos alternativos más adecuados, tanto por la relación de los parámetros medidos con el comportamiento de la capa como por su rendimiento. Así mismo, los ensayos de control de compactación deberían efectuarse bajo eje de vías y no sobre el eje o los bordes de la plataforma.

"**Varias experiencias en tramos de ensayo en pedraplenes y rellenos todo-uno**" fue el tema elegido por **D. Francisco Fernández de la Llave**, de *Tevaseñal*. Entre sus conclusiones, destacó que los



materiales utilizados en estos rellenos han cumplido en general con los requisitos de calidad de la "roca", siendo la mayor dificultad el cumplimiento con las condiciones granulométricas.

El ensayo de carga con placa, en general arroja resultados dispersos y se percibe una tendencia a que aumente el valor de $-K$ cuando lo hace el E_v y por tanto no sea un valor constante.

En los casos que se aplicó el Control de Producto Terminado, esto conllevaba en general disminuciones en la producción, por exigir la verificación de las tongadas ejecutadas mediante ensayos lentos, costosos y no siempre eficaces para la comprobación de la calidad conseguida. Por el contrario, en el caso de Control de Procedimiento, la gran ventaja es que permitió adaptarse a altos ritmos constructivos.

Para los autores, se echa en falta el apoyo de nuevas técnicas que registren, de forma real, los métodos y el tiempo empleado por la maquinaria en el extendido y compactación de las tongadas.

Posteriormente se procedió a la presentación de comunicaciones libres en una sesión que fue moderada por **D. Rafael Pérez Arenas**, de **ABERTIS - Autopistas de España**.

"Procedimiento y comportamiento de terraplenes realizados con materiales yesíferos", de **Francisco J. Castanedo Navarro** (ponente), de la **UCM**; **D. Rafael Pérez Arenas**, de la **UPM**; y **D. Carlos Oteo Mazo**, incluyó una exposición de la experiencia actualmente existente sobre la colocación de materiales predominantemente yesíferos en terraplenes de carreteras, así como los procedimientos o normativas existentes en la normativa internacional para materiales similares y que pueden

adaptarse a terraplenes en que se incluyan materiales yesíferos.

Para cada una de las obras realizadas en España con estos materiales en que han intervenido algunos de estos autores, presentaron la sección tipo del terraplén zonado realizado, incluso elementos de encapsulado, así como el proceso constructivo para la ejecución del relleno y sus procedimientos de control, que, dada la singularidad de estos materiales, deberían basarse en criterios distintos a los tradicionales, que están basados en la obtención de la densidad y humedad in situ, conceptos que no serían representativos del comportamiento futuro de los yesos.

La comunicación reflejó igualmente algunas experiencias internacionales y criterios de utilización de materiales solubles y que podían presentar fenómenos de colapso y reblandecimiento de los contactos entre partículas.

También se afirmó que las recomendaciones y normativas existentes en el Reino Unido y Francia, para la utilización de cretas, podrían ser extrapolables para la realización de terraplenes con yesos, siempre que no existiera otro material de mejores características que pudiera utilizarse.

Tras esta exposición, volvió a tomar la palabra el **Profesor Oteo** con la presentación de la comunicación **"Comportamiento de terraplenes mediante materiales arcillosos con cal hidratada"**, realizada también con los **Sres. Castanedo y Pérez Arenas**, en la que se resumió la experiencia obtenida, durante los últimos diez años, en el refuerzo de materiales marginales con cal para terraplenes viarios. Se presentaron unas recomendaciones para hacer este tipo de tratamientos, una relación de obras ejecutadas con esta técnica y los principales resultados obtenidos a través de esa experiencia

Dña. Teresa Mateos García y **O. García Moreno**, de **Acciona Ingeniería**, presentaron los **"Resultados obtenidos de la construcción e instrumentación de un terraplén de carretera con neumáticos fuera de uso (NFU)"**, en la que se recogieron los principales resultados obtenidos, tras la construcción de un terraplén para un paso superior de carretera, empleando neumáticos fuera de uso (NFU), de unos 140 m de longitud y altura variable (entre

2 a 9 m), y ubicado sobre las terrazas del río Jarama. El terraplén, que fue construido de acuerdo a la norma ASTM D-6270, así como sus materiales, fue instrumentado con el propósito de estudiar la deformabilidad de las capas de NFU y la evolución de su temperatura. Los datos obtenidos mediante su instrumentación fueron analizados mediante un modelo de elementos finitos, con el fin de estimar un valor fiable del módulo de deformación de las capas de NFU; y se demostró que el asiento medido en las capas de NFU es semejante a los datos publicados en la literatura técnica sobre el tema, y que, además, está de acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX de forma simultánea a este proyecto. De hecho, el asiento máximo registrado por una línea continua de asientos situada sobre la capa inferior de los NFU fue del orden de 25 cm. A partir de este valor, se estimó que el valor del módulo de deformación para las capas de NFU es del orden de 350 kPa, valor semejante, como se ha dicho, a los obtenidos por otros autores mediante ensayos de laboratorio o a partir de resultados de otros terraplenes experimentales.

La **"Modernización del Eurocorredor V: Bratislava-Trnava. Utilización de un colchón de geoceldas Tensor como cimentación de terraplenes sobre suelos blandos"**, fue el tema propuesto por **D. Enrique Gómez de Priego** y **D. Daniel Santillán**, de **Teconma**, en la que afirmaron que la construcción de terraplenes de obras lineales sobre suelos blandos a menudo se enfrenta a problemas de asentamientos, tanto en términos de magnitud de los asientos como de tiempos de construcción y de consolidación, que requieren algún tipo de tratamiento en la base del terraplén. En la mayoría de los casos el asentamiento en sí mismo no es el principal problema, sino los asientos diferenciales no controlados y los largos períodos de consolidación. La tecnología para la cimentación con asientos controlados se basa en un colchón especial de celdas en la base, que proporciona una plataforma relativamente rígida, que permite la construcción rápida y eficiente del terraplén mientras se controla el asentamiento y se acelera el proceso de consolidación (permite controlar la magnitud de los asientos y

Simposios y Congresos

que sean uniformes y regulares; y, además, proporciona la ventaja adicional de que toda la maquinaria de construcción puede pasar por encima del colchón).

Esta tecnología fue la descrita en esta comunicación junto con el ejemplo de la construcción de un terraplén para una línea de ferrocarril con los resultados de la monitorización de asientos y desplazamientos horizontales. Los ponentes subrayaron que los beneficios tanto económicos como en la práctica son muy significativos en comparación con otros métodos o sistemas más convencionales.

Más adelante, **D. José A. Ramos**, de *Euroconsult*, expuso la **“Utilización de equipos de alto rendimiento para la recepción de rellenos compactados”**. Para el ponente, las ventajas de los nuevos equipos de alto rendimiento son significativas porque mejoran el rendimiento, no producen interrupciones, reducen costes, son más accesibles y con resultados explotables “in situ”, que permiten tomar medidas correctoras a pie de obra. Además, la realidad actual exige un control exhaustivo de las obras de tierra, no existente con los equipos estáticos; y la utilización de ensayos rápidos, que no retrasen los trabajos de la obra, con un elevado rendimiento, y que garanticen la repetitividad y consistencia de los resultados. Para ello, y en cuanto a las diversas metodologías o líneas de actuación, procede el establecimiento de unos umbrales dinámicos (m+s) en los que habrán de tenerse en cuenta a las Administraciones y organismos competentes.

“Tratamiento y consolidación de terraplenes afectados por inclemencias meteorológicas”, de **Illán Paniagua Serrano**, de *Ines Ingenieros Consultores*, se centró en el caso particular del terraplén situado entre los pp.kk. 150/800-151/100 de la línea de Alcázar de San Juan a Sevilla, tras las inundaciones sufridas en la localidad de Alcázar de San Juan (Ciudad Real) en mayo de 2007.

El proceso constructivo comenzó con la realización de las labores de adecuación del camino de acceso, seguido del replanteo de servicios, límites parcelarios y de las actuaciones contempladas en proyecto. Durante la implantación de obra se dejaron unas servidumbres adecuadas según la normativa ferroviaria. Seguidamente, comenzaron

las labores relativas al apeo de los postes de catenaria y al desbroce, saneo y retirada de material descohesionado de la superficie del talud. Más adelante se procedió a la hincada de los dos tubos de drenaje transversal para épocas de avenida y a la ejecución de las embocaduras y soleras, así como a la ampliación de la tajera y a la ejecución de aletas, solera y rastrillo. Luego se procedió a acometer los espaldones del terraplén, incluyendo la construcción de los tacones de escollera, y el recrecido simultáneo de ambas márgenes mediante el extendido, humectación y compactación de tongadas de 30 cm de material seleccionado. Estas labores se alternaron con las actuaciones de consolidación y regeneración de la tajera presente, así como la posterior inyección para recomprimir los rellenos trasdosados.

Alcanzada la coronación del terraplén en ambas márgenes, se realizó el corte de los servicios presentes en plataforma, desguarnecido, corte y levante por parejas según las indicaciones del D.O. Una vez levantada la vía se procedió a la excavación de la plataforma hasta alcanzar el perfil de recrecido, recebo y compactación del fondo de excavación, colocación de geotextil no tejido de alto módulo elástico, y disposición de las capas de forma y subbalasto, ejecución de la canaleta de comunicaciones y colocación de balasto. Por último, recolocación de vía y primera nivelación hasta el restablecimiento parcial del tráfico ferroviario.

Tras la comida, la jornada de tarde comenzó con la presentación de una primera tanda de comunicaciones libres, en una sesión que fue moderada por **D. Fernando Román Buj**, de la *Universidad Politécnica de Madrid*.

D. José Alberto Rivas Lozano (ponente), **D. Miguel Rodríguez Plaza** y **Dña. M^ª Ángeles de la Mata Piñuela**, de *ADIF*, presentaron **“Análisis de soluciones constructivas para zonas de transición de la rigidez en líneas de ferrocarril”**. *Aplicaciones innovadoras a la mejora de la rigi-*

dez en la transición terraplén – estructura. Caso práctico: Tratamiento y consolidación de plataforma en el terraplén de Montagut, entre los pp.kk. 173+700 a 173+900 de la línea Zaragoza-Barcelona por Lérida”. Tras presentar el caso y exponer todas las medidas y acciones adoptadas hasta el momento, se presentaron los trabajos realizados para su resolución: un recrecido lateral del terraplén con material QS3, creación de un espaldón -con ejecución de escolleras de contención-, y, tras el recrecido, se procedió a la sustitución de la coronación del terraplén. En el recrecido de la coronación se dispuso horizontalmente una geomalla fabricada a partir de filamentos de polivinil alcohol de alto módulo elástico y baja fluencia en toda la superficie del terraplén, a una altura de 30 cm por encima de la coronación modificada del terraplén existente, y



cuya función es la de mejorar la capacidad de soporte de la plataforma.

Tras realizar una nueva medida de la rigidez de la vía para comprobar la bondad del procedimiento empleado, se destacó que se trata de un método que puede emplearse en problemas similares. De hecho, la rigidez de la vía, tras las mediciones realizadas, aumentó del orden de 2,5 a 4 veces en las zonas adyacentes del paso inferior; y en la zona, donde sólo se había levantado la coronación del terraplén (sección S3) y colocado una geomalla de refuerzo, la rigidez es de 2 a 3 veces superior que la inicialmente medida.

D. Javier Moreno Robles (ponente) y **D. Antonio Santos Moreno**, del *CEDEX*, en su comunicación **“Tratamiento de cuña de transición con inyecciones en**

Amposta”, se refirieron al tratamiento, definido por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, de una cuña de transición (terraplén de acceso al estribo sur del viaducto ferroviario de Amposta) mediante inyecciones armadas ejecutadas simultáneamente con el paso del tráfico ferroviario, y que se incluyó en el Proyecto europeo Supertrack.

La técnica empleada para conseguirlo es la inyección de mezclas estables de cemento por fracturación hidráulica del relleno, a través de tubos de manguitos que se instalan y tratan desde plataformas de trabajo adyacentes a las cuñas de transición que hay que mejorar. Así mismo, en la prueba efectuada se comprobó la posibilidad de mejorar el módulo de deformación del relleno, incrementándolo en un factor del orden de 2,5, sin rebasar el límite tolerable de deformación de la vía para cir-

Linares – Albacete (A-32), en el marco del proyecto de I+D mencionado.

Entre sus conclusiones, se destacó que la maquinaria más adecuada para realizar la compactación de tiras de NFU no mezclados y de mezclas con suelos es el rodillo liso vibratorio, y que no se ha podido determinar con absoluta claridad el número mínimo de pasadas de compactador necesarios para la compactación de terraplenes ejecutados con NFU y mezclas de NFU con suelo. Además, el relleno con NFU compactado presenta una densidad muy ligera que puede ser ventajosa para determinadas aplicaciones. Finalmente, la mezcla de NFU con suelo produce un material más denso, menos deformable y más fácilmente compactable.

D. Manuel Bermejo Martínez (ponente) y **D. J. A. Rodríguez Franco**, de *Prospección y Geotecnia, S.L.*; y **D. L. E. Suárez Ordóñez**, de *ADIF*, presentaron **“El comportamiento de terraplenes sobre terrenos de turbas en la línea ferroviaria Silla - Gandía. Estudio geotécnico de la plataforma entre los pp.kk. 45+200 a 47+200”**.

En ella se destacó que los elementos de drenaje existentes pueden no ser capaces de desalojar el agua de escorrentía, y que la

escasa capacidad de soporte de las turbas origina un gran número de daños en la infraestructura y superestructura ferroviaria.

En cuanto a las actuaciones para el tratamiento del sustrato donde se apoya el terraplén, se subrayó la necesidad de eliminar y sustituir el material más blando, que incluye el espesor de tierra vegetal, los rellenos antrópicos y los depósitos orgánicos (turbarias, fangos y cienos), así como la conveniencia de dar rigidez a los niveles inferiores blandos mediante inyecciones de otras técnicas de mejora del terreno, para que el material de sustitución descansa sobre una base rígida. Además, entre ambos niveles, se destacó la necesidad de que exista algún elemento que ayude al reparto de las tensiones del material sustituido sobre el terreno mejorado, como puede ser

una lámina geotextil de alto gramaje. Entre el material sustituido y el terraplén puede instalarse una segunda lámina geotextil.

“Estabilizaciones con cal en terraplenes con materiales marginales y en zonas especiales de alta velocidad”, cuyos autores son **D. Ángel Sampedro Rodríguez** (ponente), de la *Universidad Alfonso X El Sabio (UAX)*; **D. Luis M. Sopena Mañas**, de la *U.P. de Madrid*; y **D. Miguel Rodríguez Plaza**, **D. Francisco Cabrera Jerónimo**, **D. Raimundo Angosto Pérez** y **D. José J. Navarro Ugena**, de *ADIF*, expresó que las líneas de alta velocidad ferroviaria son infraestructuras susceptibles de aplicación de las técnicas de estabilización de suelos con cal. La rigidez de su trazado impone un gran movimiento de tierras que es necesario optimizar, y se hace imprescindible garantizar un comportamiento estable de la plataforma durante el período de explotación. Para ello, es fundamental construir unos rellenos durables, lo que implica aplicar tratamientos de mejora del terreno en la base y estabilizaciones de suelos que permitan el empleo de los materiales de la traza, sean cuales fueren sus propiedades. Aunque la mayoría de los estudios y las especificaciones técnicas las plantean sólo para suelos arcillosos, cualquier suelo, con la presencia de minerales puzolánicos, mejora sus características geotécnicas cuando es tratado con cal.

A continuación, comenzó la última de las sesiones que fue moderada por **Dña. Belén Monercillo**, de la *ATC*, con la presentación de la comunicación **“La estabilización con cal en el tramo Tocón - Valderrubio (L.A.V. Antequera-Granada)”**, de **D. Luis Julián Quero Ruiz** (ponente), **D. Aitor Fajardo Ballesteros** y **D. Luis Serrano Martín**, de *ADIF*. Para los autores, la estabilización con cal es una herramienta que se encuentra a disposición del ingeniero en la construcción de plataformas, y que se ha empleado en múltiples ocasiones en obras de carretera, pero de la que existe poca experiencia en obras ferroviarias en España. Sin embargo, no puede ser considerada una solución estándar, sino que debe ser estudiada en profundidad previamente a su adopción, evaluando la idoneidad de los materiales para este tratamiento (mejoras obtenidas con el tratamiento, ausencia de yesos en el material a estabilizar, etc.) y el



culación confortable (máximo movimiento vertical en carril de 3 mm entre secciones separadas 5 m en horizontal).

Dña. Herminia Cano (ponente), **D. José Estaire** y **D. Rafael Rodríguez**, del *CEDEX*, presentaron **“Terraplén experimental construido con neumáticos troceados”**. El Laboratorio de Geotecnia del CEDEX ha promovido, en colaboración con la iniciativa privada, un proyecto de I+D financiado por el CDTI, para llevar a cabo una experiencia piloto de ejecución de varias secciones de terraplén construidas con NFU troceado y con mezclas de NFU y suelo.

La comunicación presentó los aspectos más relevantes de la ejecución de las bandas de prueba, llevadas a cabo en un emplazamiento próximo al tramo de Villacarrillo a Villanueva del Arzobispo de la Autovía

Simposios y Congresos

coste final de la operación (en el que tiene un gran peso el tanto por ciento de cal que hay que utilizar).

En el caso particular de la obra Tocón – Valderrubio, objeto de la presentación, se pudo concluir que la estabilización con cal ha sido una solución técnica muy adecuada, que ha aportado una gran calidad final a la obra, y permitido minimizar los problemas ambientales y sociales, reduciendo los costes.

“Patología de terraplenes por combustión de préstamos de escorias de carbón”, tema centrado en el pp.kk. 414/850 al 415/130, de la línea Madrid-Barcelona por Caspe, fue la comunicación presentada por **D. Antonio Madrigal Fernández** (ponente), de ADIF, y **D. Nazaret Sevillano Arribas**, de Ineco. El proceso de combustión afectaba a un tramo de 45 m de vía, con un espesor de relleno de hasta 8 m, y la capacidad de soporte del sustrato era media-baja, con contenidos en sulfatos agresivos al hormigón.

Las actuaciones o medidas correctoras propuestas fueron: la realización de un desvío provisional y la sustitución del terraplén, construyendo uno nuevo con materiales adecuados. Se calcula que había en el terraplén 7 000 m³ de material potencialmente afectado por la combustión, que obligatoriamente debía ser removido y sustituido por material adecuado, y que fue transportado a un vertedero y depositado siguiendo un sistema que evitase que se reprodujera la combustión, en capas de reducido espesor, alternando con otras capas de arcillas impermeables compactadas.

Se desestimó la inyección de lechada de cemento porque el agua de inyección podría haber producido llamaradas al entrar en contacto con los gases calientes, por lo que hubiera sido necesario aumentar la viscosidad de la mezcla.

D. J. L. García de la Oliva (ponente) y **D. J. Valerio Conde**, del CEDEX, en su ponencia **“Caracterización geotécnica en fase de construcción de un relleno todo-uno de 40 m de altura”**, describieron las técnicas empleadas para estimar el comportamiento geotécnico de un relleno todo-uno de 40 m de altura, que formó parte de las obras de construcción de una autovía en el Noroeste de España.

Para caracterizar los parámetros de de-

formabilidad del relleno, se utilizó el análisis espectral de ondas superficiales (AEOS) y así obtener las curvas de dispersión a partir de las que se definiría la variación del módulo de rigidez transversal, G , del medio. Sus resultados se compararon con los procedentes de un ensayo estático efectuado, utilizando como sobrecarga los metros finales del relleno y controlando las deformaciones con un micrómetro deslizante (R02).

Como conclusiones, se subrayó que se obtuvo un módulo de deformación global de 40 MPa en el estudio de sus datos estáticos, y, a la vista de la experiencia en otros rellenos realizados en España, el valor citado se consideró admisible.

Además, si se comparan los perfiles de los módulos de elasticidad obtenidos con el ensayo estático con los procedentes del dinámico AEOS, en la parte superior del relleno, en la que los resultados presentan una dispersión baja, se obtiene una relación $E_D/E_S = 7$ para niveles de deformación del orden de 10^{-3} . Sin embargo, bajo esa zona, donde las deformaciones medidas presentan dispersiones elevadas, con deformaciones del orden de 10^{-2} , se midieron relaciones E_D/E_S notablemente superiores a las previsibles para dichos niveles de deformación, y cuyas posibles justificaciones fueron expuestas a lo largo de la intervención.

Finalmente y previo al coloquio final, intervino **D. Fernando Román**, de la UPM, quien presentó dos comunicaciones. En cuanto a la **“Rotura de un terraplén sobre limos arenosos de residuos mineros”**, el Sr. Román explicó que se trata de un terraplén de la Autovía Ronda de la Bahía de Santander construido sobre una antigua balsa de residuos procedentes de las explo-

taciones de mineral de hierro de la primera mitad del siglo XX. Los residuos, de naturaleza y características limosas, se presentaban con una consolidación por debajo de la “normal” y, por tanto, con unas resistencias muy bajas. Los terraplenes proyectados en este tramo tuvieron en cuenta la existencia de estos residuos y se diseñaron con tratamientos del terreno que permitían su construcción por fases. La realidad, tras la rotura para una altura estimada todavía como estable, ha mostrado una resistencia mucho menor que la razonablemente estimada. Los datos expuestos por ponente fueron una contribución al mejor conocimiento de estos suelos.

Por lo que se refiere a las **“Determinaciones de la densidad y humedad de compactación en un terraplén”**, el Sr. Román presentó los resultados de un gran número de determinaciones *in situ* de la densidad y de la humedad de un terraplén en dos casos de rellenos compactados formados, en un caso, por una zahorra artificial y, en otro, una zahorra natural con finos. Se expusieron las diferencias que se dan entre los resultados de usar el método “del cono de arena” o del método “nuclear” concluyendo con la necesidad de, además de una calibración periódica de los equipos en el laboratorio, contrastar ambos métodos en el propio material que hay que ensayar.

La jornada finalizó con unas palabras de su Director Técnico, **D. Carlos Oteo Mazo**, quien mostró su agradecimiento tanto a los asistentes como a la ATC, como organizadora de la jornada, y destacando algunas conclusiones sobre los temas tratados a lo largo del día, subrayando la importancia de la geotecnia en todo el proceso constructivo. ❖



La mobilité des Français

José Alba
ICCyP

En diciembre de 2010 se ha publicado un interesante documento que presenta los resultados de la encuesta nacional 2008 de transportes y desplazamientos en Francia. Aporta una descripción completa de los comportamientos de movilidad de los franceses, a la vez que permite interpretar las tendencias observadas en los últimos decenios. Ofrece un gran número de datos y gráficos que resultan de gran interés como referencias de procesos ocurridos en un país con el que tenemos muchas coincidencias, aunque un cierto desfase socioeconómico, y ofrece una interesante oportunidad para, a partir del análisis de lo que viene ocurriendo en Francia, reflexionar sobre estrategias y decisiones que hay que adoptar en nuestro país.

El coche, en Francia, continúa siendo el modo de transporte dominante, habiéndose incrementado ligeramente entre 1994 y 2008 su participación en el conjunto de los desplazamientos en ciudades; retrocede su uso en las áreas urbanas centrales, en el conjunto de la región parisina y en las ciudades más densas. El incremento demográfico, el aumento de movilidad y la mayor longitud de los desplazamientos en las zonas menos densas han hecho crecer un 30% el tráfico automovilista en Francia, en el periodo 1994-2008. Mientras las personas tradicionalmente más móviles se desplazan un poco menos en 2008 que en 1994, las menos móviles ven su movilidad progresar de manera significativa. Algo parecido ocurre en la relación con los niveles de renta: reducciones de movilidad asociadas a mayores niveles económicos

Por otra parte, se detecta un incremento de la marcha a pie en las grandes áreas urbanas, ocurriendo lo contrario en las comunidades rurales, en general. Para todos los tamaños de áreas urbanas, la marcha a pie y el uso de la bicicleta decrecen fuertemente desde el centro a la periferia de las ciudades. En otro orden de cosas, mientras el número de hogares sin vehículo automóvil ha descendido desde el 30% en 1982 al 19% en 2008, los hogares con dos vehículos o más han pasado del 23% al 36% en el mismo periodo.



Los viajes de largo recorrido han crecido entre 1994 y 2008, pasando de 5,53 a 6,38 viajes/persona/año, aunque con tasa significativamente inferior al periodo 1982-1994. Los viajes personales o profesionales son más breves que en 1994, habitualmente de ida y vuelta en el mismo día. Los viajes por motivos profesionales contribuyen, sobre todo, a la progresión del ferrocarril. Sin embargo, para viajes de recreo, los franceses utilizan sobre todo el avión y suelen ser al extranjero. Es así que crecen más el tren y el avión entre 1994 y 2008, tanto en porcentaje de los viajes como en viajeros x km: 3% y 2,5% para tren y avión, frente al 1,4% de crecimiento para el coche. Se observa también un significativo incremento

de la movilidad (larga distancia) de las personas jubiladas, que ha crecido desde 3,3 a 4,6 viajes/persona/año.

En el periodo analizado (1994-2008), el indicador km/hab./año ha crecido un 7% en lo correspondiente a la movilidad de carácter local y el 36,8% para la de larga distancia.

Los franceses emiten casi 2 toneladas de CO₂ por persona y año (2008) como resultado de su movilidad, correspondiendo a los viajes diarios y locales (d<80 km desde el domicilio) más del 70% de esa cantidad.

Se presentan también muchos datos de interés relativos a otros diversos aspectos de la movilidad de los franceses. Incluye también una amplia bibliografía sobre todos los temas tratados, así como referencias particularizadas a cuatro regiones.

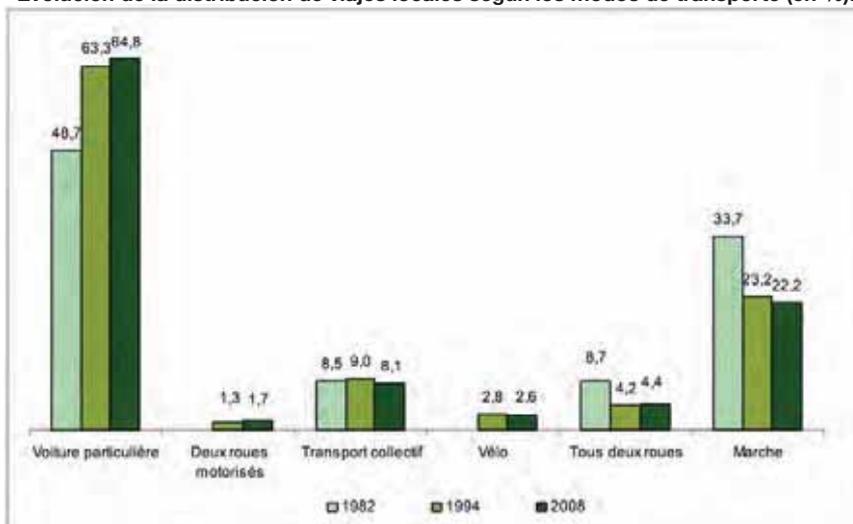
Los desafíos en materia de movilidad son importantes para todos: se trata de promover prácticas más sostenibles, favoreciendo a la vez la proximidad y las soluciones más económicas, sin reducir la movilidad individual y permitiendo la accesibilidad general.

El documento, de 228 páginas, ha sido publicado en la colección "La Revue" del Commissariat General au Développement Durable (CGDD) del Ministerio de los Transportes francés.

Puede descargarse en la siguiente dirección electrónica:

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

Evolución de la distribución de viajes locales según los modos de transporte (en %).



Champ : déplacements locaux un jour de semaine ouvré des individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine.
Note : dans l'enquête de 1982, les vélos et deux roues motorisés n'étaient pas distingués.
Sources : SOeS, Insee, Inrets, enquêtes nationales transports 1982, 1994, 2008

Noticias

El pasado 9 de febrero de 2011, Banobras (Banco Nacional de Obras y Servicios de México) ha adjudicado a la firma de ingeniería **Ineco**, que lidera un grupo de empresas con alta especialización en el sector, el contrato para administrar la gestión técnica y la supervisión del tramo de carretera entre las ciudades de Guadalajara y Colima.

Se trata de un ambicioso proyecto viario que traslada al país latinoamericano el modelo de autopistas de primera generación que existe en España. El proyecto incluye dos fases diferenciadas: en la primera se realizará todo el trabajo de consultoría y asesoramiento técnico, mientras que en la segunda se emprenderán las obras propiamente dichas, que también son supervisadas por Ineco.

El nuevo modelo de las autopistas de México concentra en un grupo especializado la responsabilidad en la asesoría técnica (estudios y proyectos) y en la supervisión tanto del futuro operador como del responsable del mantenimiento de la vía. Es quien debe asegurar el cumplimiento de los niveles de calidad en todas las fases.

El contrato, con una duración de 14 años y un importe de unos 620 millones de pesos (más de 37 millones de euros), supone un nuevo hito en la colaboración en distintas materias que se ha venido produciendo entre Ineco y Banobras durante los últimos meses. El presidente de Ineco, Ignasi Nieto, procedió a la firma del contrato el pasado 4 de febrero en Mexico D.F.

Ineco se constituye así en punta de lanza de un grupo de empresas altamente especializadas que constituyen la oferta española. Dentro ese grupo figuran firmas colaboradoras como **Apia XXI**, **Grado AAA**, **Tekia**, **Semic** y Casares-Castelazo abogados.

La autopista Guadalajara-Colima fue construida en 1983, tiene una longitud de 148 kilómetros y forma parte del corredor Manzanillo-Tampico, siendo ésta la principal vía de comunicación terrestre entre las ciudades de Guadalajara, Zapotlan El Grande (Ciudad Guzmán), Colima y el puerto de Manzanillo.

Por su lado, **FCC** acaba de dar a conocer su Memoria de Sostenibilidad 2009-2010 en la que informa de los resultados de su gestión empresarial con el ánimo de dar a conocer qué oportunidades de negocio se abre con el desarrollo sostenible y cómo están siendo aprovechadas por la compañía, que ha incrementado su internacionalización (de un 3% en 2005, a un 53% en 2009), unido a una reconocida especialización en obras de gran valor añadido (un 64% de obra civil en 2005, a un 81% en 2009). Además, en lo ambiental, su sistema de gestión ha integrado la evaluación de riesgos y la monitorización de las emisiones para aprovechar las oportunidades de mejora en este ámbito. Asimismo, la memoria informa de las grandes oportunidades ligadas al Plan Extraordinario de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, las inversiones ferroviarias, los planes de rehabilitación de edificios, las energías renovables y la inquietud creciente sobre la energía nuclear y la descontaminación de suelos. Así mismo, FCC recoge en su informe el esfuerzo que ha sido conseguir una reducción del 15% en los costes no relacionados directamente con la producción, el impulso dado a la internacionalización del grupo, con un 53% de los ingresos provenientes de su actuación en otros países, y que hasta un 62% de su cifra de negocio es resultado de la obra civil. ❖

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

REVISTA DE LA A.I.P.C.R. ESPAÑOLA

Para información y suscripciones pueden dirigirse a:

Asociación Técnica de Carreteras
Monte Esquinza, 24, 4.ª Dcha. 28010 Madrid
Tel.: 913082318 Fax: 913082319
info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com

Deseo suscribirme por un año a la revista **RUTAS**, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ 4% I.V.A. respectivamente)

Forma de pago:

Cheque

Domiciliación bancaria CCC nº _____

Transferencia a la CCC nº 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa

NIF

Dirección

Teléfono

Ciudad

C.P.

e-mail

Provincia

País

Año 2011

Fecha

Firma

Nota: En los envíos no nacionales se cobran los gastos de envío



grandes proyectos, nuevas fronteras

En Ineco la calidad, la innovación, la tecnología y el talento se unen para desarrollar grandes proyectos que contribuyen a la proyección internacional de la tecnología española.

ineco

Referente en ingeniería y consultoría de transporte

Aeronáutico - Ferroviario - Transporte urbano - Carreteras
Visítanos en www.ineco.es



FERROVIAL AGROMÁN CONECTA MADRID CON LEVANTE

Llevamos años abriendo nuevas vías de futuro, como el nuevo corredor de Alta Velocidad Madrid-Valencia, en el cual Ferrovial Agromán ha ejecutado la plataforma de los tramos Villalgordo del Júcar-La Gineta y Arcas del Villar-Fuentes; el montaje de vía del tramo: Cuenca-Gabaldón; la Base de Montaje de Villarrubia de Santiago y el Centro de Tratamiento Técnico en Ancho Ibérico de Valencia.

Porque creemos en conectar lugares y personas, porque avanzamos hacia el progreso.