

Construyendo Argentina



**JCR S.A.**

Sede central  
Córdoba 300 cp 3400-Corrientes-Argentina  
Te +54 3794-478100

Oficinas en Buenos Aires  
Florida 547 p. 16 Cp1005 Bs.As-Argentina  
Te +54 11 4393-1814/1819

[www.jcrelats.com.ar](http://www.jcrelats.com.ar)



**PETROQUÍMICA  
PANAMERICANA S.A.**

**PLANTA FABRICACIÓN ZÁRATE:  
FABRICACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS Y DILUIDOS  
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA  
PAVIMENTOS URBANOS Y SUBURBANOS  
VENTA Y ENTREGA EN OBRA DE ASFALTOS Y FUEL-OIL**

TEL. FIJOS : (011) 4747-2358 / 4732-0393  
CELULARES: (011) 15-3909-6097 / 6494-4700 / 4143-2034  
PARQUE INDUSTRIAL ZARATE - Pcia. de Buenos Aires  
[porelbuencamino@sion.com](mailto:porelbuencamino@sion.com)



### JUNTA EJECUTIVA

Presidente: **Ing. GUILLERMO CABANA**

Vicepresidente 1º: **Ing. NICOLÁS M. BERRETTA**

Vicepresidente 2º: **Sr. HUGO BADARIOTTI**

Vicepresidente 3º: **Ing. JORGE W. ORDOÑEZ**

Secretario: **Sr. M. ENRIQUE ROMERO**

Prosecretario: **Ing. MIGUEL MARCONI**

Tesorero: **Sr. NÉSTOR FITTIPALDI**

Protesorero: **Ing. ROBERTO LOREDO**

Director de Actividades Técnicas: **Ing. MARIO LEIDERMAN**

Director de Difusión: **Lic. RICARDO REPETTI**

Director de Capacitación: **Ing. NORBERTO CERUTTI**

Director Ejecutivo: **Ing. JORGE LAFAGE**

Director de RRII y Comunicaciones: **Lic. FEDERICO ANDREON**

# STAFF



### CARRETERAS

Año LVIII - Número 215  
Octubre de 2014

Director Editor Responsable:  
**ING. GUILLERMO CABANA**

Diseño y Diagramación:  
**ILITIA GRUPO CREATIVO**  
ilitia.com.ar

Impresión:  
**FERROGRAF**  
Cooperativa de Trabajo Limitada  
www.ferrograf-ctl.com.ar  
Boulevard 82 Nro. 535 La Plata.  
Pcia. de Buenos Aires, Argentina.

[revista@aacarreteras.org.ar](mailto:revista@aacarreteras.org.ar)  
[www.aacarreteras.org.ar](http://www.aacarreteras.org.ar)

**CARRETERAS**, revista técnica, impresa en la República Argentina, editada por la Asociación Argentina de Carreteras (sin valor comercial).

Propietario:  
**ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRETERAS**  
CUIT: 30-53368805-1  
Registro de la Propiedad Intelectual (Dirección Nacional del Derecho de Autor): 519.969  
Ejemplar Ley 11.723

Realizada por:  
**ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRETERAS**  
Dirección, redacción y administración:  
Paseo Colón 823, 6º y 7º Piso (1063)  
Buenos Aires, Argentina.  
Tel./fax: 4362-0898 / 1957



PÁG. 10

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRETERAS  
62º ANIVERSARIO



PÁG. 12

CICLO DE SEMINARIOS  
INFRAESTRUCTURA VIAL PARA EL CRECIMIENTO NACIONAL

# ÍNDICE



Nota Editorial.	04
Próximos Eventos.	09
62° Aniversario de la AAC.	10
CICLO DE SEMINARIOS: Infraestructura Vial para el Crecimiento Nacional.	12
JORNADA: Nuevas Especificaciones para Mezclas Asfálticas.	19
Pre-XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito.	20
Autopista Ribereña.	27
Accidentología Vial en la Autovía Ruta Nacional N° 14.	32
Puentes Arco - Ruta Nacional N° 150.	37
Entrevista Ing. Jorge Omar Solá Jais.	44
Breves	48
• Educación vial para docentes.	
• La Asociación Argentina de Carreteras en el Comité de Honor y en la Comisión Permanente del CISEV.	

## TRABAJOS TÉCNICOS

01. Presentación de dos casos de patologías no habituales en pavimentos asfálticos: diagnóstico, solución y propuesta de medidas preventivas.	52
02. Asfaltos a baja temperatura y modelos reológicos.	61
03. Los caminos autoexplicativos (CAE). Funcionales, coherentes, coordinados, flexibles, sensibles al contexto, indulgentes, más seguros y económicos.	70
04. Calibración y ajuste de métodos de cálculo de caudales máximos para el diseño de alcantarillas clasificados por regiones, aplicados a rutas representativas de San Juan.	86
05. Aplicación de la tecnología de trituración/ fracturación (rubblizing) para el reciclado del pavimento rígido en la Ruta Nac. N° A-008 (circunvalación de la Ciudad de Rosario), provincia de Santa Fe.	94

## DIVULGACIÓN

01. Cartilla de asfaltos para uso vial #1.	103
02. Sistemas de contención de vehículos en mediana. Disposición más segura.	104



PÁG. 19

JORNADA  
NUEVAS ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS



PÁG. 37

INFRAESTRUCTURA VIAL  
PUENTES ARCO - RUTA NACIONAL N° 150



Ing. Guillermo Cabana

## POR MÁS Y MEJORES CAMINOS

“Por más y mejores caminos” ha sido el lema que ha conducido a esta institución en sus 62 años de existencia.

Sin embargo, hace pocos días alguien sugirió modificarlo para incluir la palabra “seguros”.

¿Es esto necesario? ¿O el concepto de seguridad ya está incluido dentro de la idea de “mejores”? Es un tema para reflexionar y analizar.

¿Qué nos lleva a pensar que es necesario agregar la palabra “seguros”? Evidentemente, la preocupación. Porque cada día somos testigos del número creciente de accidentes, muertos y heridos que se producen en nuestras rutas y calles.

Escuchamos a menudo que 9 de cada 10 accidentes se producen por culpa de los conductores y esto ha sido el enfoque tradicional del problema, ignorando así la responsabilidad que nos cabe de dar cada día más seguridad a nuestras rutas y calles.

La Ley 24.449, que rige el tránsito en nuestro país y nos indica cómo convivir en nuestras calles y rutas, establece con claridad en su artículo 21 que es el Estado quien debe implementar los medios necesarios para que circular sea seguro, y prescribe que toda obra o dispositivo que se ejecute, instale o esté destinado a surtir efecto en la vía pública debe ajustarse a las normas básicas de seguridad vial.

Pero a continuación también prescribe que cuando la infraestructura no pueda

adaptarse a las necesidades de la circulación, la misma deberá desenvolverse en las condiciones de seguridad preventiva que imponen las circunstancias actuales. Esto significa que es el conductor quien deberá adoptar las precauciones.

Y ESTO ES CORRECTO.

El uso de las rutas es una responsabilidad compartida. Es imposible pensar que podemos diseñar, construir y mantener rutas para que cada uno circule como quiera, a la velocidad que se le antoje y en la forma que se le ocurra.

Todos y cada uno de los conductores debemos asumir conductas responsables de respeto frente a las normas de convivencia, o sea, cumplir con la ley de tránsito.

Pero ello no disminuye la responsabilidad que le cabe todos y cada uno de los involucrados en el quehacer vial, en el diseño, la construcción, el mantenimiento y la operación de las rutas.

Ingenieros y técnicos, funcionarios y empresarios, proyectistas y constructores, encargados del mantenimiento y de la señalización vial. Todos y cada uno de los agentes de las vialidades, de las fuerzas de seguridad, de las empresas constructoras y consultoras, de los municipios que trabajan sobre calles y caminos, somos responsables.

Y esa responsabilidad radica en tener conciencia de que es nuestro compromiso hacer de nuestras calles o caminos un ambiente más seguro.

Una vez más, el Estado es el responsable pero los actores son varios, incluidos todos los que participamos de la tarea vial, tanto en el ámbito público como privado: funcionarios y agentes, constructores o consultores.

Es necesario cambiar el enfoque de nuestra actividad. Su centro, su objeto y destino no es el camino, no es la obra vial en sí misma, a pesar de que nos enorgullece y premiamos una obra bien pensada y ejecutada.

El objeto de todas y cada una de nuestras obras y acciones es el hombre, es nuestro conciudadano que circula por ellas. Y es el hombre quien debe ser el objeto de nuestra acción. Tomar conciencia de este hecho es fundamental a la hora de afrontar el proceso íntegro de la obra vial.

#### **LA TAREA EMPIEZA POR EL PROYECTO**

Trátase de una obra nueva o la readequación de una existente, el criterio del proyectista debe centrarse en el usuario, en su realidad, expectativas y habilidades.

Es fundamental que en cada repavimentación o readequación de una ruta se tenga en cuenta el diseño original,

ya que seguramente han cambiado las condiciones de los desplazamientos en cuanto al tipo y velocidad de los vehículos que la utilizan, así como las expectativas y habilidades de los conductores que circulan por ella.

Curvas bien diseñadas hace 50 años hoy son insuficientes y deberán ser readequadas. Ello es solo un ejemplo de las situaciones que deberán observar los proyectistas hoy en día.

El usuario, sus necesidades, expectativas y seguridad debe ser el centro de la atención. El cumplimiento de las normas de diseño y de los requerimientos de calidad de todos y cada uno de los elementos que integran la obra es importante, pero la obra en sí debe ser valorada por el servicio que presta y casi siempre es posible incorporar mejoras que muchas veces no resultan onerosas.

De igual forma, al construir no debe perderse de vista que lo estamos haciendo por y para los usuarios y el constructor debe afrontar los desafíos que ello conlleva. No solo cumplir con las especificaciones técnicas sino dar la mejor solución a todos los elementos que hacen al confort y seguridad de los que por esa ruta vayan a transitar.

Y esto es válido para la etapa de obra en servicio, pero también -y fundamental-

mente- durante el período constructivo, donde se debe actuar con inteligencia a la hora de programar las tareas y los desvíos que fueran necesarios, garantizando la fluidez en la medida de lo posible, pero siempre priorizando la seguridad de todos los usuarios y de quienes trabajan en la obra.

En ese sentido, la misma ley da prescripciones concretas que muchas veces no se cumplen en la ejecución de las obras. Pero cada empresa constructora deberá asumir su responsabilidad para que toda obra sea, en cada momento, pensada en función de los usuarios.

Otro elemento fundamental en cuanto al servicio que el camino presta a los usuarios es el mantenimiento. Y éste es casi siempre responsabilidad de las agencias viales.

Es preciso que todos y cada uno de los agentes viales tomen conciencia de su rol en este sentido y que no dejen nunca de prestar atención a las acciones de mantenimiento sobre nuestras calzadas, pero también sobre las zonas marginales, dado que son parte del servicio que prestan a la comunidad.

Calzadas sin baches abiertos ni grandes deformaciones son tan importantes como zonas de banquetas y taludes perfilados y libres de obstáculos peligrosos.





El estado del señalamiento horizontal y vertical, el correcto emplazamiento y mantenimiento de barreras de contención y seguridad debe también ser motivo de atención permanente.

El avance de los sistemas C.R.e.M.a. ha resultado, en general, en rutas que prestan un servicio razonable, y se espera que podamos contar con actividades similares e iguales responsabilidades sobre el mantenimiento del resto de las redes.

Hemos asistido al desarrollo de importantes obra viales en todo nuestro territorio, que han incrementado la red vial pavimentada. Hoy contamos con más de 3.500 km de caminos con más de 2 carriles por sentido de circulación, o sea autopistas o autovías.

No es poco lo hecho y podemos ver obras que hoy nos enorgullecen a todos los que compartimos el quehacer vial. La Autopista Buenos Aires-Rosario-Córdoba o la Autovía de la Ruta Nacional Nº 14 son, entre otras, importantes realizaciones que están destinadas a mejorar la vida de todos los habitantes de este país y a todos los que por ellas circulan.

Pero para dar satisfacción a la inquietud que planteamos al inicio de esta nota, y convencernos de que mejores caminos son también caminos más seguros, debemos adherir firmemente todos nosotros, ingenieros y técnicos,

funcionarios y empresarios, proyectistas y constructores, encargados del mantenimiento y de la señalización vial, al compromiso permanente de observar y atender con solicitud los requerimientos de la demanda en nuestras calles y caminos.

Por ello, hemos creado una Comisión de Seguridad Vial dentro de la AAC, que ya está trabajando en pos de desarrollar todas las acciones posibles que sirvan para generar mejoras en la seguridad en el tránsito.

Esto demuestra el compromiso de la Asociación Argentina de Carreteras con la seguridad vial, destacando una vez más que es una responsabilidad compartida entre la sociedad y las autoridades en sus distintas jerarquías.

La seguridad vial, junto a muchos otros temas, será parte de la agenda académica del próximo **Pre-XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito**, a realizarse del 3 al 6 de noviembre en el Hotel Panamericano de Buenos Aires.

Confiamos en que este encuentro nos permitirá conocer, a través de expertos internacionales, las experiencias en materia de seguridad vial en diversas partes del mundo y a la vez nos brindará un espacio ideal para el intercambio de conocimientos para generar mejores obras y con mayor seguridad para nuestros caminos.

Los convocamos a todos los que forman parte del quehacer vial a participar y aprovechar al máximo el **Pre-XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito**.

**HASTA LA PRÓXIMA EDICIÓN.**



San Martín 1137 Piso 1 C1004AAW  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
República Argentina

T: (54 11) 4576.7695 / 7690

F: (54 11) 4576.7699

[www.icpa.org.ar](http://www.icpa.org.ar)



GESTIÓN DE LA CALIDAD  
IRAM-ISO 9001:2008



GESTIÓN AMBIENTAL  
IRAM-ISO 14001:2004



Los Sistemas de Gestión de la Calidad y Ambiental del ICPA han sido certificados según las normas IRAM-ISO 9001:2008 y 14001:2004





PAOLINI HNOS  
*50 aniversario*

ideas, no teorías



# Próximos Eventos

## 2014

**XVIII CLATPU**  
**Congreso Latinoamericano**  
**de Transporte Público**  
20 al 24 de octubre  
Rosario, Santa Fe, Argentina  
[www.clatpu.org](http://www.clatpu.org)

**Seminario Ejecutivo, Contratos**  
**Basados en el Desempeño**  
Grupos de Trabajo y  
Visitas Técnicas.  
19 al 29 de octubre  
Orlando, Florida, EE.UU.  
[www.irfnews.org](http://www.irfnews.org)

**Pre-XVII Congreso Argentino**  
**de Vialidad y Tránsito**  
3 al 6 de noviembre  
Buenos Aires, Argentina  
[secretaria@aacarreteras.org.ar](mailto:secretaria@aacarreteras.org.ar)  
[www.congresodevialidad.org.ar](http://www.congresodevialidad.org.ar)

**2° Congreso Argentino de Áridos**  
9 al 12 de noviembre  
Buenos Aires, Argentina  
[www.camaradelpiedra.org.ar](http://www.camaradelpiedra.org.ar)

**Bauma China 2014**  
25 al 28 de noviembre  
Shanghai, China  
[www.bauma-china.com](http://www.bauma-china.com)

**Busworld Latin America Bogotá 2014**  
4 al 6 de diciembre  
Bogotá, Colombia  
[www.latinamerica.busworld.org](http://www.latinamerica.busworld.org)



## 2015

**94° Encuentro Anual del**  
**Transportation Research Board**  
**(TRB)**  
11 al 15 de enero  
Washington D.C., EE.UU.  
[www.trb.org/AnnualMeeting2015](http://www.trb.org/AnnualMeeting2015)

**Seminario "Seguridad en el**  
**trabajo al borde del camino"**  
17 al 19 de febrero  
Lima, Perú  
[esalinas@IRFnews.org](mailto:esalinas@IRFnews.org)  
[www.irfnews.org](http://www.irfnews.org)

**Primera Cumbre de Preservación y**  
**Reciclado de Pavimentos**  
22 al 25 de febrero  
París, Francia  
[www.pprsparis2015.com](http://www.pprsparis2015.com)

**Reunión y Exposición Anual ITE 2015**  
2 al 5 de agosto  
Hollywood, Florida, EE.UU.  
[www.ite.org/meetings](http://www.ite.org/meetings)

**XXV Congreso Mundial de la Carretera**  
2 al 6 de noviembre  
Seúl, República de Corea  
[www.piarc.org](http://www.piarc.org)

62° ANIVERSARIO  
AAC



62° ANIVERSARIO

## DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRETERAS

La Asociación Argentina de Carreteras realizó el lunes 21 de julio la celebración de su 62° aniversario.

El cóctel se llevó a cabo en el **Salón Auditorio de la AAC** y contó con la participación del **Ing. Nelson Periotti**, Administrador General de la Dirección Nacional de Vialidad; el **Ing. Jorge Rodríguez**, Presidente del Consejo Vial Federal; el **Ing. Gustavo Weiss**, Presidente de la Cámara Argentina de la Construcción; el **Sr. Daniel Indart**, Presidente de Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas (FADEEAC); el **Agrim. Jorge Pinto**, Presidente de la Cámara Argentina de Consultoras de Ingeniería (CADECI), y otras autoridades vinculadas al sector vial.

También asistieron directivos de entidades colegas, socios, representantes de empresas asociadas y profesionales relacionados con la actividad vial y del transporte por carretera.

El presidente de la Asociación, **Ing. Guillermo Cabana**, agradeció a los presentes y resaltó el accionar y los logros de estos 62 años. Hizo especial énfasis en todo lo alcanzado durante la última década bajo el liderazgo del **Lic. Miguel Salvia**, quien propició una significativa apertura institucional al ámbito internacional, y así logró posicionar a la AAC en foros y comités técnicos del más alto nivel.



En el ámbito local, destacó la realización de las **Jornadas de Seguridad Vial en Buenos Aires y Entre Ríos**, que contaron con una amplia convocatoria y participación. Asimismo, resaltó el desarrollo del Ciclo de Jornadas de Infraestructura Vial para el Crecimiento Nacional para fortalecer la difusión del trabajo realizado en el ámbito vial.

Por último, invitó a todos los presentes a participar del próximo **Pre-XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito**, que se realizará del **3 al 6 de noviembre en el Hotel Panamericano de Buenos Aires**.

Como una muestra de reconocimiento a su labor al frente de la Asociación, se realizó un merecido homenaje al **Lic. Miguel Salvia**, a quien se le otorgó una placa recordatoria.

Además, se llevó a cabo la entrega de distinciones a los socios que cumplieron **30 y 50 años apoyando a la institución**:

**Las entidades que alcanzaron los 30 años de membresía fueron:**

- **Cámara Argentina de Consultores de Ingeniería (CADECI):** Recibió la distinción su presidente, Agrim. Jorge Pinto.



- **Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan:** Recibió la distinción el Ing. Juan Marcet.



- **Gago-Tonin S.A.:** Recibió la distinción uno de sus titulares, Ing. Julio Gago.



- **Consultoría Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.:** Recibió la distinción uno de sus titulares, Ing. Oscar E. Grimaux.



**Quienes cumplieron 50 años como asociados y recibieron sus plaquetas fueron:**

- **Ing. Carlos Ardanáz.**



- **Techint S.A.:** Recibió la distinción el Ing. Manuel Cleiman.



Como cierre del evento, el **Ing. Nelson Periotti** efectuó un brindis junto a los presentes destacando a la Asociación Argentina de Carreteras como un referente necesario del sector vial nacional y animando a todos a seguir trabajando en pos del desafío que es nuestro lema:

**“Por Más y Mejores Caminos”.**

## CICLO DE SEMINARIOS

INFRAESTRUCTURA VIAL PARA EL CRECIMIENTO NACIONAL



# Se llevó a cabo la primera Jornada del Ciclo de Seminarios “INFRAESTRUCTURA VIAL PARA EL CRECIMIENTO NACIONAL”

La Asociación Argentina de Carreteras realizó el martes 8 de julio el primer encuentro del Ciclo de Seminarios de “Infraestructura Vial Para el Crecimiento Nacional”.

Este ciclo se organizó con la idea de dar mayor difusión y empuje al desarrollo, modernización y transformación de las carreteras de nuestro país, siguiendo con el lema que nos motiva: “Por más y mejores caminos”.

La primera jornada, llevada a cabo en el **Hotel Panamericano de Buenos Aires**, estuvo centrada en los diferentes aspectos que hacen a la movilidad y vialidad urbana, destacándose la experiencia de la **modernización de la Avenida General Paz**.

El acto de apertura contó con la presencia del **presidente de la Asociación Argentina de Carreteras, Ing. Guillermo Cabana**, junto al **Ministro de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Arq. Julio De Vido**; el **Ing. José López, Secretario de Obras Públicas de la Nación**, y el **Administrador General de la Dirección Nacional de Vialidad, Ing. Nelson Periotti**.

El programa del evento se dividió en tres paneles que abarcan diversos temas relacionados con el desarrollo de las obras en la **Avenida General Paz**, el diseño y la movilidad urbana y la inversión en infraestructura vial como motor del desarrollo.

### PANEL 1 - MODERNIZACIÓN DE LA AVENIDA GENERAL PAZ

#### Ing. Gustavo Gentili

Director Ejecutivo del OCCOVI (Órgano de Control de las Concesiones Viales)  
Plan director de la ampliación de la Av. General Paz -  
Conceptos Generales

#### Ing. Axel Fernández de Prado

Subgerente de Obras de OCCOVI  
Avenida General Paz: obras realizadas y proyectadas

#### Ingenieros Diego Carminatti y Miguel Brizuela

Autopistas del Sol  
Detalles generales del Plan de Obras de la Avenida General Paz

#### Ing. Carlos Thays

Estudio Thays  
Paisajismo en la Avenida General Paz

### PANEL 2 - MOVILIDAD Y DISEÑO URBANO

#### Ing. Jorge Felizia

Profesor de Escuelas de Posgrado UBA, UNLP y UNR  
Aplicaciones de Tecnología de Punta en la Vialidad Urbana

#### Lic. Miguel Ángel Salvia

Presidente del Comité Argentino de la Asociación Mundial de la Ruta (AIPCR-PIARC)  
Los próximos desafíos de la vialidad urbana

#### Ing. Alejandro Langlois

Gestión Ejecutiva en Ingeniería CSYA  
Modelos de tránsito

#### Arq. Jorge Moscato

Profesor Titular, Diseño Arquitectónico I a V - Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo - UBA. Miembro de Comisión Directiva de la Sociedad Central de Arquitectos (SCA)

### PANEL 3 - INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL COMO MOTOR DEL DESARROLLO

#### Lic. Juan Chediack

Vicepresidente 3° de la Cámara Argentina de la Construcción

#### Hugo Ferreyra

Secretario de Organización UOCRA

#### Lic. Juan F. Mangiameli

Secretaría de Transporte - Ministerio del Interior y Transporte. Presidencia de la Nación

#### Ing. Nelson Periotti

Administrador General de la Dirección Nacional de Vialidad

En el sitio web de la Asociación Argentina de Carreteras ([www.aacarreteras.org.ar](http://www.aacarreteras.org.ar)) podrá ver los videos de las conferencias y descargar las presentaciones.

# Discurso de Apertura

Arq. Julio De Vido - Ministro de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios



Arq. Julio De Vido

Quisiera agradecer al **Ing. Guillermo Cabana**, al Administrador General de Vialidad Nacional, **Ing. Nelson Periozzi**; al Director Ejecutivo del OCCOVI, **Gustavo Gentili**; a las autoridades nacionales; provinciales; municipales; legisladores; representantes de organizaciones sociales; gremiales; empresarias; compañeros de la **UOCRA**; a la **Cámara Argentina de la Construcción**, empresarios en general. Quiero agradecer también la invitación de la **Asociación Argentina de Carreteras** para inaugurar este encuentro, en donde seguramente no solo se va a hablar de todo lo realizado, sino también, como lo hace habitualmente la Asociación, se van a analizar las obras de importancia por su impacto estratégico, no solamente para la comodidad del tránsito de quienes circulan por el área metropolitana de Buenos Aires sino también para seguir trabajando en este crecimiento que ha tenido la Argentina en estos últimos diez años en materia de desarrollo económico, principalmente en el sector industrial.

Está claro que una infraestructura funcional, ágil y en crecimiento permanente otorga competitividad económica porque baja los costos de la logística. Esto es fundamental y es la tarea en que debemos seguir empeñándonos. Estamos en vísperas de un año electoral. Seguramente, la Asociación Ar-

gentina de Carreteras y las distintas entidades intermedias escucharán propuestas de los distintos candidatos y nosotros creemos y sostenemos que debemos apoyar y sustentar a aquellos proyectos que impulsen y profundicen este esquema de trabajo y de desarrollo de infraestructura que llevaron adelante los dos presidentes de esta época, Néstor y Cristina Kirchner. Porque allí está el fenómeno de la gobernabilidad se plantea claramente la sustentabilidad de un gobierno. Porque un plan de infraestructura como el que ha sido llevado adelante en estos últimos diez años es el que le da vida a la ocupación plena, al crecimiento interno bruto, al desarrollo permanente que ha tenido la Argentina todos estos años.

Quiero describir brevemente las obras viales ejecutadas a partir de la decisión geopolítica del año 2003 del entonces Presidente Néstor Kirchner y continuada por la Presidenta Cristina. Estamos hablando del plan de obras públicas más grande de la historia, el cual lleva acumulado en todas las áreas de infraestructura aproximadamente 350.000 millones de pesos. Argentina aumentó más del 100% su parque automotor en sus últimos diez años. En el caso de los automóviles particulares pasó de cuatro millones seiscientos mil a nueve millones y medio de unidades en circulación. Un incremento del 104% en el caso del transporte de cargas, comercial y transporte de pasajeros.

Se pasó de un millón doscientos mil a dos millones doscientas mil unidades. Un 142% de incremento, al igual que la variable macroeconómica. En el noroeste argentino, que es una zona olvidada, marginada hasta el año 2002, el parque automotor creció el 101%. En la Patagonia y el Comahue, el 129%; el 122% en Cuyo; el 113% en el NEA; el 85%, en el área metropolitana y el 95%, en Santa Cruz y Santa Fe. Esto habla de

una Argentina que busca equilibrarse, generar igualdad de oportunidades. Además de incorporar a la gente, incorporamos a la región donde la gente vive. De nada sirve que los ciudadanos se agolpen en los grandes centros urbanos. Hay que darle viabilidad, sustentabilidad al interior del país, en el marco de una gestión eficiente. Esto hemos hecho con las líneas eléctricas. Las autopistas Ruta 9 y 14, el cuarto carril de Avda. General Paz... Son muestras ineludibles del modelo de desarrollo con inclusión social que ha permitido duplicar el PBI en los últimos diez años. El impacto del crecimiento en el parque automotor se puede constatar fácilmente con algunos ejemplos de crecimiento del tránsito vehicular. El movimiento anual en los peajes de las concesiones de las rutas pasó de ochenta y cinco a ciento sesenta millones de pesos: un incremento de 88%.

Mientras que en los peajes de acceso a la Ciudad de Buenos Aires la cantidad de vehículos se incrementó de doscientos treinta millones a trescientos sesenta y cinco: un 59%. Estos indicadores son una muestra indiscutible de las obras ejecutadas que acompañaron y fomentaron este fenomenal crecimiento de tránsito vehicular en la Argentina en el marco de un país que duplicó su producto bruto, su actividad económica y actividad industrial.

Seguramente, las obras de mayor envergadura, como la Ruta 14, la Autopista Rosario-Córdoba, la pavimentación de la Ruta 40, o la ampliación de la Avda. General Paz, sean las de mayor renombre y las más conocidas. Constantes fueron los kilómetros de autopistas y autovías y los cuatro mil quinientos kilómetros de rutas provinciales y nacionales pavimentadas en el interior de la Argentina.

El futuro nos plantea el desafío de seguir construyendo infraestructura para poder continuar propiciando el crecimiento del país y su economía. Siempre destaco que cuando asumimos la gestión del gobierno no encontramos ni un papel escrito en plan de obras, ya sea públicas, viales, de vivienda, de energía... Bastaba mirar el mapa de infraestructura con imágenes de una Argentina dividida en tres territorios: la Argentina central (Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe), el norte y Cuyo, y el noreste, que era el país inviable. Cuando yo era Ministro de Economía de mi provincia, Santa Cruz, veníamos a las reuniones con los miembros del gabinete en la época neoliberal y decían los gobernadores que sus provincias no eran viables sin darle ninguna propuesta o alternativa. Y ahí se crearon los grandes conflictos sociales que estallaron en 2001. Santa Cruz, olvidada en el sur, como decía Néstor Kirchner, era el patio trasero de la Argentina, de donde se sacaban en forma indiscriminada sus recursos energéticos y se exportaban a valores venales, para luego cobrar la diferencia, el "fee" que se cobraba afuera.

No se puede hablar de unidad nacional si las provincias se encuentran físicamente aisladas o si mínimamente no tienen desarrollada una red de transporte terrestre confiable. Por ello son vitales los sistemas de ruta que conecten todas las regiones, porque contar con sistemas seguros integrados significa que el país es uno solo. Las obras viales desarrolladas en once años constituyen un estímulo a la producción y la puesta en valor de regiones históricamente consideradas inviables o aisladas. Encontramos un ejemplo en el caso de la agricultura. La superficie sembrada se incrementó en un 26%. El equivalente a la superficie de la provincia de Formosa o tres veces la de Tucumán. Este crecimiento estuvo ligado fuertemente a la expansión de la frontera agrícola. Sin las obras de infraestructura nacional o provincial hubiera sido imposible canalizar esta mayor producción hacia las industrias o puertos para su posterior exportación.

Por eso debemos tomar conciencia del verdadero protagonismo que tiene este sector. Es fundamental que ello se

haga en este ámbito, con la Asociación Argentina de Carreteras de por medio, que siempre trabajó para que esto sea posible y va a seguir velando para que el proceso continúe. Ésta es la tarea con la cual debemos comprometernos todos los que trabajamos en este salón. Con la plena conciencia de que había que enfrentar el abandono en materia de infraestructura, tanto Néstor como Cristina Kirchner hicieron aquello que hacía décadas se había dejado de hacer. Planificar obras y ejecutarlas: gestionar. Durante estos diez años bajo el liderazgo de Néstor y Cristina ejecutamos el plan de obras más grande de la historia, que debe continuar para seguir transitando el camino de crecimiento, de inclusión y, fundamentalmente, de un país en el que sea posible vivir y convivir en armonía, crecimiento, desarrollo y plena ocupación.

## Entrevistas realizadas durante la Jornada Infraestructura Vial para el Crecimiento Nacional

### Ing. Guillermo Cabana

Presidente de la Asociación Argentina de Carreteras



Ing. Guillermo Cabana

**Revista Carreteras:** *Orgullosos de haber sido nombrados por el Ministro De Vido en su discurso de apertura del Seminario por el rol de Carreteras en la promoción de "más y mejores caminos", en este caso particular por la ampliación de la Avda. General Paz.*

**Ing. Guillermo Cabana:** Sí, es una satisfacción que el ministro se haya hecho presente y aceptado la invitación. Muchas veces nos preocupamos porque vemos que la obra vial que cambia la vida de mu-

chas personas no tiene la difusión correcta y nosotros, siempre preocupados por el desarrollo de más y mejores caminos, queremos resaltar las acciones que van por la vía correcta.

**R.C.:** *El ministro destacó la gestión de los Kirchner, pero lo que debemos señalar es que esto debe tomarse como una política de Estado y que muchísimas obras que comenzaron en esta etapa y que han tenido impulso en este período deben continuarse.*

**Ing. Cabana:** Argentina fue pionera en la región en el buen desarrollo de la ingeniería vial. Las redes que hoy disfrutamos y estamos modificando nacieron hace más de cincuenta años, cuando Argentina tomó la delantera en Latinoamérica en la construcción y diseño de caminos. Hoy estamos adaptando esa estructura a las nuevas condiciones del mundo moderno. Eso es lo que debemos analizar y ver cómo seguir en el camino correcto de las necesidades cambiantes de los usuarios.

**R.C.:** *Se mencionaba a Pascual Palazzo, el "padre" de la Avda. General Paz, y se habló de nuevos caminos de vinculación que tratan de interconectar a los puertos con la producción. Se habló de la autopista Perón. Se está pensando, entonces en una articulación para un mejor desarrollo de la economía y una mejor integración de la sociedad.*

**Ing. Cabana:** Parece mentira que tantos años después sigamos analizando pensamientos del Ing. Palazzo en ésta y muchas otras situaciones. Evidentemente fue un visionario en el tema y hoy en día sus pensamientos se siguen utilizando. Nosotros hoy estamos desarrollando una red arterial importante. Hemos duplicado, a lo largo de estos años, la cantidad de rutas con más de dos carriles por lado de circulación. La autopista Presidente Perón constituye un avance que no podemos retrasar más, es decir, una vinculación trasversal que rodee la Ciudad de Buenos Aires y que dé movilidad al conurbano. Es importantísimo.

**R.C.:** *Ustedes reclaman no solo por el área urbana capitalina, sino que lo hacen por distintas áreas urbanas. Es así*

*que en la Asociación Argentina de Carreteras han reconocido algunas realidades urbanas en el interior del país, como por ejemplo, Rosario o Córdoba. Y que se entienda que el país necesita más de este tipo de obras.*

**Ing. Cabana:** Cuando hablamos de déficit no hablamos de una insuficiencia en el trabajo que han desarrollado las Vialidades. Hablamos de una necesidad que surge del desarrollo. Somos conscientes de que es imposible readecuar toda la red a la necesidad creciente. Lo que sí es necesario es que siempre estemos en camino de atender esas necesidades. Siempre vamos a estar lejos de la solución. Es así que en los países más avanzados del mundo siempre están desarrollando nuevas soluciones, para nuevos requerimientos, para nuevas necesidades. Nosotros estamos en ese camino y queremos continuar así.

**R.C.:** *Además del crecimiento del parque automotor y las nuevas necesidades que se van planteando, como caminos más benignos, para evitar accidentes. La forestación que se hizo en la Avda. General Paz demuestra que el tema ambiental está incluido. Hay una mayor complejidad que no se remite solamente al hecho frío del camino en sí mismo.*

**Ing. Cabana:** Si pensamos que en los últimos diez años duplicamos la cantidad de vehículos que están circulando por nuestras rutas, hay que cambiar muchas cosas. El medio ambiente es importante, pero también está el tema de los caminos indulgentes. Nosotros, como el resto del mundo, habíamos diseñado caminos con otros parámetros de diseño, velocidad, capacidad de vehículos, de velocidades de circulación, de ap-

titudes y actitudes de los conductores. Hoy eso cambió. Las necesidades de la vida moderna nos llevan a otras cosas. Entonces estamos trabajando en el sentido de los caminos indulgentes.

**R.C.:** *Todo ello sumado a lo que significa desde el punto de vista del desarrollo del país, de las industrias vinculadas, de la mano de obra, de la construcción. Ustedes, que son los que nuclean a todos en la Asociación Argentina de Carreteras, son los que pueden dar una mejor opinión respecto de cuánta actividad involucra el desarrollo de cada una de estas industrias.*

**Ing. Cabana:** La actividad vial es el motor de muchas otras actividades, además de una solución del tránsito en general y del transporte de carga en particular. Siempre hemos sostenido que la inversión vial no es un gasto más y no debe ser la variable de ajuste, como lo ha sido en muchas épocas en el pasado. En el último tiempo hemos visto con satisfacción cómo la inversión vial ha sido una constante, a pesar de las dificultades económicas que pudo haber sorteado el país en algún momento. La inversión vial se ha mantenido de manera constante y creciente y eso es muy importante para el futuro.



# Ing. Carlos Thays

Estudio Thays



Ing. Carlos Thays

**Revista Carreteras:** *Un desafío poder mantener la identidad de la Avenida General Paz a pesar de estos cambios con la aplicación del carril.*

**Ing. Carlos Thays:** Sí, pero muy lindo. Transitar, caminar y medir los árboles que plantó mi abuelo es muy lindo.

**R.C.:** *¿Él estaría satisfecho o propondría algo más?*

**Ing. Thays:** Esa es una pregunta que ya me quitó el sueño varias veces. Creo que estaría de acuerdo porque un paisajista tiene algo de urbanista y en este caso está claro que la Avda. General Paz necesitaba una remodelación y hubo que hacerlo utilizando esos espacios verdes. Por eso, desde mi participación, hice hincapié en el árbol, para que esté presente acompañando la obra de infraestructura.

**R.C.:** *Usted comentaba que algunos vecinos habían tomado la Avda. General Paz como parte de su parque y habían inclui-*

*do especies que no estaban incluidas en el registro original y tuvo que retocar, en muchísimos espacios, donde el vecino había echado mano alterando aquello que su abuelo había previsto.*

**Ing. Thays:** Sí, así es. Pero de todas maneras, lo mejor que le puede pasar a un paisajista es que a la gente le guste su trabajo. Que una ciudad se adueñe de un borde es muy importante, porque la ciudad no termina en la Avda. General Paz, sino que termina con la Avda. General Paz. La ciudad se adueñó de este borde cuando generalmente ocurre lo contrario. Donde hay una autopista o carretera, allí es donde se termina. En cambio acá el proyecto fue tan bien hecho y tan bien pensado, hecho con tantas ganas y tanto amor, que la gente lo incorporó.

**R.C.:** *Inclusive evitar ese divorcio entre la obra fría de cemento y eso de "pongámosle un poco más de árboles".*

**Ing. Thays:** Sí, porque el árbol educa mucho. En algunas fotos mostrábamos arbolitos chiquitos, de un metro. Cuidar un árbol es cuidar el futuro. Eso lo tenemos que cuidar muchísimo porque, en definitiva, los árboles grandes que tenemos no los plantamos nosotros. Los cuidaron otros. Es la mejor lección.

**R.C.:** *La obra original cumplió setenta años. Muchísimas especies sobrevivieron y en algunos casos los árboles se corrie-*

*ron aunque sea unos metros. Por respeto y porque forman parte de la identidad de esa Avda. General Paz, ello representa un mensaje.*

**Ing. Thays:** Esto hace treinta años era impensable. Creo que en eso hemos crecido y estoy muy contento. Quizá antes no se hubiera hecho, los responsables lo hubieran pasado por alto. El OCCOVI no lo hubiera hecho. Sin embargo, ahora, no por obligación sino por sentir que es lo que corresponde, que es nuestro patrimonio, decidimos conservarlo.

**R.C.:** *Además existe un cambio cultural: las obras no se hacen "manu militari", sino que el vecino interviene y hay una especie de consenso entre quien va a hacer la obra y quien va a vivir cerca de ella, para que ésta no este desconectada de la vida de quien diariamente va a convivir con ella.*

**Ing. Thays:** Contar con asambleas y discusiones siempre es mejor.

**R.C.:** *¿Tiende a ser una obra con enseñanza para futuros casos en donde el paisaje y la obra son una unidad?*

**Ing. Thays:** Exactamente. Donde el paisaje es un paisaje muy delicado y sensible, que todo porteño conoce. Se debe cuidar la obra y su contexto. Teniendo en cuenta también la eliminación de ruidos, la seguridad vial. Es un todo en un escenario común.

# Ing. José F. López

Secretario de Obras Públicas de la Nación



Ing. José F. López

Conjuntamente con la Asociación Argentina de Carreteras se ideó este seminario, no tan solo con relación a la infraestructura vial en general, sino también poniendo foco en la vialidad urbana. e En este marco, se hizo hincapié en las áreas metropolitanas, como es el caso de la Ciudad de Buenos Aires, un área metropolitana importante. Se inauguró una obra símbolo, como es la primera etapa de la ampliación de la Avenida General

Paz: se completaron cinco kilómetros de la ampliación de esta autovía, que es el primer anillo de circunvalación de la Ciudad de Buenos Aires, incorporándole un cuarto carril y también los cruces transversales. Es importante debatir sobre la característica puerto-céntrica de la Argentina y la situación radial que presenta la Ciudad de Buenos Aires, donde

ingresan radialmente, con centro en el Obelisco, todos los accesos: Norte (con la Ruta 9 y la Nacional 8); Oeste (Ruta 7 y 5); la Ruta 3, que viene por La Matanza y luego va por Rivadavia hasta Plaza de Mayo; la Autopista Ezeiza-Cañuelas y la Autopista La Plata-Buenos Aires, con su ramificación de la Autopista 12.

**Revista Carreteras:** *Hay distintas clases de tránsito, tal cual lo decía en su exposición. Y necesitamos incluir todo aquello relacionado con los puertos y el crecimiento: industria, exportación de granos, etc. Ahí nos referimos a anillos que están un poco más allá de la Avda. General Paz.*

**Ing. López:** Justamente. Como tiene esa característica radial, es fundamental que el área metropolitana comience a desarrollar ese flujo o movimiento transversal para poder vincularse. Ese movimiento se desarrolla a través de la segunda circunvalación, la Ruta Provincial 4, pero también en una autopista que se está desarrollando y avanzando fuertemente en este tiempo y falta completar y habilitar en su último tramo, que es la Autopista Presidente Perón, continuación del Camino del Buen Ayre, que constituye la tercera circunvalación. También hay una cuarta circunvalación, que vincula el Puerto de Campana con

el Puerto de La Plata, que es el puerto que en los próximos años está llamado a crecer en una forma importante. También se están reacondicionando los carriles de esa autopista. Falta terminar el último tramo, que es la intersección de la Ruta 2 con la Ruta 215, con la Ruta 44, que es la que sale directo desde la Catedral a la Ruta 6, y terminar el último sector, que es la circunvalación de La Plata, para vincular los puertos, para vincular la producción y para cumplir lo que está llamada a cumplir la infraestructura vial: el desarrollo de la economía y el transporte. Es decir, por donde circula la riqueza del país.

## Ing. Nelson Periotti

Administrador General de la División Nacional de Vialidad



Ing. Nelson Periotti

**Revista Carreteras:** *Es importante escuchar el discurso político que subyace tras una obra, como han hecho ustedes desde la División Nacional de Vialidad.*

**Ing. Nelson Periotti:** Desde la DNV dimos un mensaje político institucional y quisimos que nuestro auditorio conozca el impacto que ha generado el desarrollo de este enorme plan de obras que se ha concretado desde el año 2003 en todo el territorio nacional. Nuestra actividad genuina es la de vincular las zonas urbanas entre sí, con los puertos, y fundamentalmente a la gente de nuestro país. Y es lo que estamos cumpliendo.

**R.C.:** *Uno lo que quisiera es que todas las administraciones tuvieran un pensamiento estratégico y que organismos como Vialidad sean el eje y herramienta que promuevan concretarlo más allá de las ideologías. Porque el camino, la economía, el transporte y el desarrollo atraviesan a todas las administraciones por igual.*

**Ing. Nelson Periotti:** Claro. Quiero recordar en este momento a nuestro ex Presidente Néstor Kirchner porque él, a quien conocí en de la provincia de Santa Cruz, ha sido un permanente promotor de las obras de infraestructura pública, especialmente de las de infraestructura vial. Ha trabajado mucho en la política desde la ejecución de obras. Por eso, lo que nosotros hicimos fue cumplir con esa instrucción política luego continuó nuestra Presidenta, Cristina de Kirchner, quien le ha conferido a la DNV esta posibilidad de desarrollar un plan de obras viales de características emblemáticas.

**R.C.:** *Uno de los tópicos de la reunión fue la ampliación de la Av. General Paz. Una obra de setenta y tantos años, lo que demuestra que siempre ha habido una visión de que el país necesita obras de envergadura. Luego hubo "huecos", que sería importante rellenar con políticas de Estado y continuidad.*

**Ing. Periotti:** Es verdad, se debería tener una continuidad en el desarrollo de infraestructura pública; fundamentalmente de infraestructura vial, porque el crecimiento se apoya mucho en los caminos. Hoy todos los expositores mencionaban la importancia del crecimiento de las ciudades y del país en general y la importancia de la infraestructura vial para acompañar ese crecimiento. En la

vida de crecimiento nacional creo que la Argentina tuvo unos cuantos años con falencia de estructura, es decir: no había crecimiento, por lo tanto no era necesaria. Pero cuando el país comienza su evolución, crece a niveles importantes: 8,5 a 9% en algunos años, durante un período de prácticamente una década. Evidentemente la producción en todos los aspectos crece y debe ser transportada. Pero, además, ha crecido el desplazamiento de nuestra gente. Han crecido las ciudades, ha crecido la industria, el agro, la ganadería, el turismo y todo eso se mueve a través de la infraestructura vial.

**R.C.:** *Usted forma parte de una administración y las administraciones no son eternas. Vendrán otras. Pero lo importante es dejar planteado el compromiso con esta cadena de desarrollo, para establecer un sólido eslabón que pueda prolongarse.*

**Ing. Periotti:** Lo importante es que haya continuidad. Cuando nos hicimos cargo en el año 2003 no había muchas obras, pero las que estaban las recuperamos; las que estaban en ejecución, las continuamos y las que estaban paralizadas, las activamos. Pienso que ésta es la forma en que las nuevas administraciones deben llevar adelante este desarrollo de plan de infraestructura vial para nuestro país. •

**5 de octubre**

# **Día del Camino y del Trabajador Vial**



**4.171 KM**  
de Rutas rehabilitadas

en **90 Municipios**

con una inversión de  
**1.100 Millones**  
de pesos

**Plan Integral de Mantenimiento  
Conservación y Rehabilitación  
de Rutas Provinciales**



**Dirección de Vialidad Provincia de Buenos Aires**

Av. 122 n° 825 - La Plata-Buenos Aires CP 1900 - Tel: 0221 4211161 al 69

0800-222-3822 @vialidadBA [prensavialidad@gmail.com](mailto:prensavialidad@gmail.com)

## JORNADA

NUEVAS ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS



COMISIÓN PERMANENTE  
DEL ASFALTO

# SE REALIZÓ LA JORNADA DE PRESENTACIÓN DE “NUEVAS ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS”

La Comisión Permanente del Asfalto y la Asociación Argentina de Carreteras organizaron el **miércoles 13 de agosto** una jornada de difusión y debate sobre “Nuevas Especificaciones para Mezclas Asfálticas”.

El evento se llevó a cabo en el **Salón Auditorio de la AAC** y contó con la asistencia de más de **60 profesionales** del ámbito vial, de diversas empresas constructoras, concesionarios viales y municipios, así como también personal de la **Dirección Nacional de Vialidad** y de distintas **Vialidades Provinciales**.

La jornada comenzó con unas breves palabras de bienvenida del **Ing. Guillermo Cabana**, presidente de la Asociación Argentina de Carreteras, quien agradeció a los presentes por el interés demostrado y la importante participación.

La primera presentación estuvo a cargo del **Ing. Mario Jair** y se tituló “**Nuevas Especificaciones Para Mezclas Asfálticas**”. Esta exposición incluyó los detalles en común y las diferencias entre el “**Pliego de Especificaciones para Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor**” y el “**Pliego de Especificaciones para Mezclas Asfálticas en Caliente Gruesas**”.

Tras una breve pausa para un café, el **Ing. Jair** expuso sobre el estado actual de la técnica de reciclado de mezclas asfálticas, los tipos de reciclado utilizados y la situación en Europa y los Estados Unidos.

A continuación, la **Ing. Rosana Marcozzi** presentó el “**Pliego de Especificaciones para Concretos Asfálticos Convencionales Reciclados en Caliente en Planta**” y el “**Pliego de Especificaciones para Concretos Asfálticos Convencionales Reciclados en Frío in situ con Emulsión Asfáltica**”.

Luego, se abrió un espacio para el debate y las preguntas y se desarrolló un enriquecedor intercambio de ideas entre los asistentes y los oradores, que servirá para continuar fortaleciendo los proyectos de especificaciones y lograr un consenso aun mayor.

Como cierre, las conclusiones del evento estuvieron a cargo de los presidentes de la **Comisión Permanente del Asfalto** y de la **Asociación Argentina de Carreteras**, **Ings. Marcelo Ramírez y Guillermo Cabana**, quienes sostuvieron que es muy importante fomentar y trabajar en la actualización de los pliegos de especificaciones técnicas y también continuar con este tipo de acciones para dar mayor difusión al trabajo realizado y promover la transferencia tecnológica y de conocimientos. •



En el sitio web de nuestra asociación ([www.aacarreteras.org.ar](http://www.aacarreteras.org.ar)) se encuentran disponibles las presentaciones de esta jornada para aquellos interesados en descargar el material.

SE ACERCA EL



PRE-XVII CONGRESO ARGENTINO  
**de Vialidad y Tránsito**  
8º EXPOVIAL ARGENTINA



X CONGRESO INTERNACIONAL ITS  
X SIMPOSIO DEL ASFALTO



X Congreso  
Internacional ITS



X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO



II SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

“UNA MIRADA AL FUTURO DE LAS CARRETERAS Y EL TRANSPORTE”

A POCO MÁS DE UN MES DE  
SU CONCRECIÓN, EL PRE-XVII  
CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD  
Y TRÁNSITO CONTINÚA AVANZANDO.

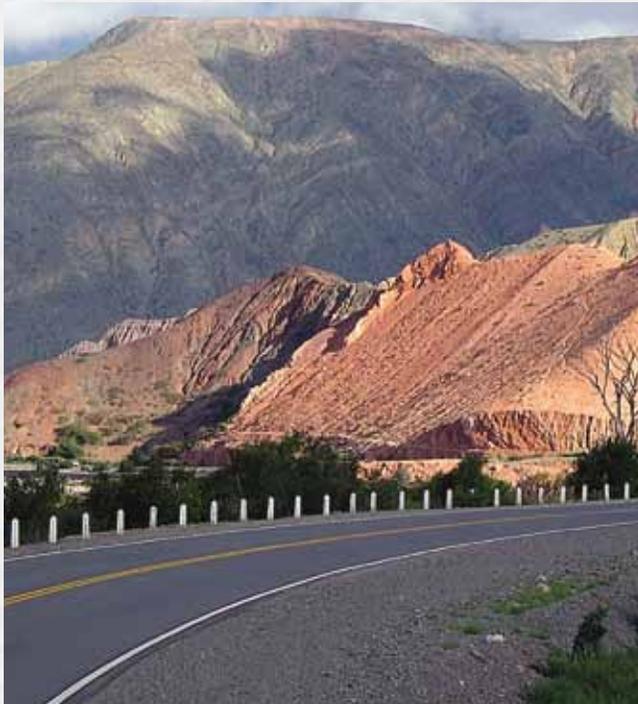


Bajo el lema **Una Mirada al Futuro de las Carreteras y el Transporte**, se programaron más de **50 conferencias especiales** que abarcarán todos los temas relacionados con el quehacer vial, dentro de una visión amplia y multidisciplinaria de la problemática que nos convoca.

Además, se realizarán más de **10 mesas redondas** con diversas temáticas, que serán espacios de intercambio y debate entre todos los profesionales y técnicos que de una u otra manera desarrollan su actividad ligada al sector vial.

Por ello, será una gran oportunidad para que todos los involucrados en la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento, la gestión y seguridad vial, se encuentren para contrastar experiencias y enriquecerse con el intercambio entre colegas argentinos y del extranjero.

Como todos saben, el **Instituto del Cemento Portland Argentino, ITS Argentina** (Sistemas de Transporte Inteligente) y la **Comisión Permanente del Asfalto** realizarán conjuntamente al **Pre XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito** el **II Seminario Internacional de Pavimentos de Hormigón**, el **X Congreso Internacional ITS** y el **X Simposio del Asfalto** para potenciar el desarrollo del evento, transformándolo en el gran encuentro de la vialidad argentina y regional del año.



## » ÁREAS TEMÁTICAS

AQUÍ ENCONTRARÁ UN ADELANTO DE LAS PRINCIPALES CONFERENCIAS TÉCNICAS CON LAS QUE CONTARÁ CADA ÁREA TEMÁTICA, ASÍ COMO ALGUNAS DE LAS MESAS REDONDAS.

En simultáneo, se desarrollará la **8º Expovial Argentina 2014** que brindará a los asistentes la oportunidad de tomar contacto directo con fabricantes y proveedores en los rubros materiales, tecnología, equipos, software, servicios y señalización entre otros. Esta exposición será de libre acceso a los asistentes durante todas las jornadas.

Por todo esto, nuevamente invitamos a todos los profesionales y técnicos, docentes, estudiantes e investigadores, empresarios y consultores, y funcionarios de todos los niveles a participar en el **Pre-XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito**, un encuentro que será un foro de ideas acorde a los desafíos que la vialidad y el transporte de Argentina y la región deberán enfrentar en los próximos años.

### » 1. GERENCIAMIENTO DE REDES VIALES

Esta área se compone de todos los temas relativos a la operación de una red de carreteras y aquellos ligados a las herramientas necesarias para optimizar los recursos disponibles. Se considerarán los aspectos técnicos, normativos, el monitoreo, evaluación y asignación de tránsito; las diferentes metodologías para garantizar fuentes genuinas de recursos, diferentes alternativas sobre el financiamiento, la interrelación entre el transporte carretero y otros medios y las necesidades de obras de integración regional.

Abarcará todos los temas que hacen a la problemática de los caminos, desde la definición de su función hasta la necesidad de estructurar un sistema que permita financiarlos en condiciones sustentables.

#### • MESA REDONDA: CAMINOS RURALES

 **Ing. SANDOVAL Roberto**

Director Nacional de la Administradora Boliviana de Carreteras. Presidente del Comité Técnico 2.5 "Redes de carreteras rurales y accesibilidad de las zonas rurales" de la AIPCR-PIARC.

 **Ing. GAGO Julio**

Presidente de Gago Tonin S.A. - Consulta especializada en servicios de ingeniería civil con más de 30 años de trayectoria.

 **Lic. SALVIA Miguel**

Presidente del Comité Argentino de la Asociación Mundial de la Ruta (AIPCR-PIARC).

#### • MANUAL DE CAPACIDAD (HCM 2010)

 **Ing. SKABARDONIS Alexander**

Profesor de ingeniería civil y en transporte en la Universidad de California, Berkeley. Miembro del Comité de Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) del Transportation Research Board.

#### • TRANSPORTE INTELIGENTE Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

 **Ing. GÓMEZ GONZÁLEZ Pedro**

Presidente de GETINSA Ingeniería.

Consultora internacional de ingeniería relacionada con las infraestructuras y el medio ambiente.

#### • PROYECTO PAISAJISTA DE LA AUTOPISTA RIBEREÑA

 **Arq. LIBEDINSKY Carlos**

Arquitecto. Director adjunto de la Maestría en Diseño Arquitectónico Avanzado – Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - Universidad De Buenos Aires.

## » 2. TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

Los temas que se incluyen en esta área son los relacionados con el transporte de mercancías y pasajeros y tienen como finalidad contribuir a lograr niveles óptimos tanto en el movimiento de personas como de cargas, en el marco de un desarrollo sustentable y el mejor uso de los recursos. Abarcará los aspectos que hacen a la regulación y planes de transporte, a su economía, a la coordinación entre los diferentes modos, y a la operación y equipamiento de los transportes de cargas y su relación con el uso eficiente de los recursos.

#### • MESA REDONDA: BITRENES

 **Sr. FITTIPALDI Néstor**

Representante de la Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas (FADEEAC).

 **Ing. HUGHES Guillermo**

Gerente de Ingeniería de SCANIA Arg S.A..

 **Ing. HERMANN Juan**

Socio Gerente de Metalurgica Hermann S.R.L., fabricante de acoplados para bitrenes.

#### • EL TRANSPORTE POR CARRETERA EN LATINOAMERICA

 **Ing. IRIGOYEN Jose Luis**

Director de Transporte, Agua y Tecnologías de Información y Comunicaciones y del Departamento de Finanzas de Infraestructura de la Red de Desarrollo Sostenible (SDN) del Banco Mundial.

## » 3. MOVILIDAD URBANA

Debido al alto grado de motorización y concentración, las urbes medianas y grandes deben enfrentarse a infinidad de problemas relacionados con el tránsito, el transporte y la movilidad en las ciudades, lo que obliga a encontrar nuevos y más eficientes sistemas de ordenamiento y racionalización. El mejoramiento del movimiento de vehículos y de los transportes públicos de pasajeros, como así también el correcto diseño de calles y la adecuada definición de prioridades en su utilización permitirán evitar el agravamiento de la situación actual. En esta área se facilitará la discusión de todos los aspectos relacionados con la movilidad urbana y la interrelación entre el tránsito urbano e interurbano.

#### • MESA REDONDA: ACCIONES DE MOVILIDAD SUSTENTABLE

 **Ing. PUGNO Martina**

Directora General de la Dirección General De Ingeniería De Tránsito - Municipalidad De Rosario.

 **Ing. BUSSI German**

Director de Planeamiento de Transporte - Subsecretaría de Transporte de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

#### • MOVILIDAD SUSTENTABLE EN MONTEVIDEO

 **Lic. CAMPAL Néstor**

Director General del Departamento de Movilidad de la Intendencia de Montevideo, Uruguay.

#### • MOVILIDAD URBANA EN CIUDADES MEDIANAS

 **Ing. BLOT Horacio**

Director de American Traffic S.A., empresa argentina con proyección local e internacional en el mercado de las soluciones ITS y la seguridad vial.

## » 4. SEGURIDAD VIAL

Las altas tasas de siniestralidad de la región en general y de nuestro país en particular reclaman que se realice un profundo análisis sobre los diversos aspectos que componen a la Seguridad Vial. Por ello, será amplio el tratamiento de este tema, abarcando desde la legislación, las políticas y la educación, hasta las metodologías de relevamientos de datos y métodos analíticos, pasando por el tratamiento de los diferentes elementos viales que hacen a incrementar los niveles de seguridad.

#### • PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE MEJORAS DE SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS //

#### DISEÑO GEOMÉTRICO Y SEGURIDAD VIAL

 **Ing. HARWOOD Douglas**

Program Director del MRIGlobal's Transportation Research Center. Especialista en diseño geométrico y seguridad vial.

#### • COMPARACIÓN DE NORMAS DE COMPORTAMIENTO DE BARANDAS

 **Ing. SEPULVEDA Patricio**

Ingeniero de Diseño de Aplicaciones en Trinity Highway Products, LLC.

#### • TALLER PARA AGENTES VIALES: UN COMPROMISO CON UNO Y LA COMUNIDAD

 **Ing. GARRIDO Adriana**

Jefa de Sección Estudios y Proyectos - 18° Distrito, Chaco – Dirección Nacional de Vialidad

#### • MESA REDONDA: BARANDAS DE PUENTES

 **Ing. CERNUSCHI Diego**

Profesor del Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Integrante del Departamento Obras de Arte de la Subgerencia Estudios y Proyectos de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.

 **Ing. RODRIGUEZ PERROTAT Juan**

Coordinador Nacional de la Tecnicatura Superior en Seguridad Vial. Universidad Tecnológica Nacional - Agencia Nacional de Seguridad Vial.

## » 5. PAVIMENTOS

En esta área se desarrollarán el **II Seminario Internacional de Pavimentos de Hormigón y el X Simposio del Asfalto**.

Dentro de estos encuentros, se tratarán todos los aspectos que hacen al diseño, construcción, conservación y rehabilitación de los pavimentos en sus diferentes tipos, como así también los diversos aspectos relacionados con las obras básicas y la evaluación tanto de las características estructurales y superficiales como de los equipos para tales fines.

• **CONSIDERACIONES DE DRENAJE Y SOPORTE PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN // INNOVACIONES CONSTRUCTIVAS Y CÓMO CONSTRUIR PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CONFORTABLES, DURABLES Y SILENCIOSOS.**

 **Ing. RODDEN Robert** 

Director de Servicios Técnicos y Desarrollo de Productos en la American Concrete Pavement Association (ACPA).

• **CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA BASES DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON JUNTAS // CONTROL DE FISURACIÓN TEMPRANA**

 **Ing. ZOLLINGER Dan** 

Profesor e investigador en Texas A&M University. Especialista en el diseño, comportamiento y desempeño de pavimentos rígidos.

• **CONCLUSIONES SOBRE EL DESEMPEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE LOSAS CORTAS CONSTRUIDOS EN LATINOAMÉRICA**

 **Ing. SALGADO Mauricio** 

Jefe del Área de Pavimentación del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH).

• **EL RECICLAJE EN CALIENTE Y LOS PROCESOS DE MEJORA DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO: LA EXPERIENCIA FRANCESA DE MÁS DE 25 AÑOS**

 **Dr. BROSEAUD Yves** 

Investigador del Departamento de Materiales del IFSTTAR - French Institute of Science and Technology for Transport Planning and Systems (ex: LCPC: Laboratory Central des Ponts et Chaussées) Nantes, Francia.

• **MATERIALES Y DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA PREVENIR LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN CARRETERAS**

 **Dr. BAHIA Hussain** 

Director de Modified Asphalt Research Center (MARC) en la Universidad de Wisconsin

• **SOLUCIONES PARA TRATAR EL AHUELLAMIENTO: ALTERNATIVAS Y CASOS DE ESTUDIO**

 **Ing. JAIR Mario** 

Latin America Bitumen Technology Manager en Shell Argentina.

## » 6. PROYECTO DE CARRETERAS

Se tratarán todos los aspectos que hacen a un eficiente y seguro tránsito en las carreteras desde el mismo momento en que se comienza a conformar el proyecto correspondiente.

Por ello, se tendrán en cuenta los temas directamente ligados al diseño geométrico de caminos, a las normas y los estándares referentes al mismo. Además, se debatirán los aspectos que hacen al diseño, construcción y conservación de puentes y túneles como así también las técnicas en los usos de materiales, métodos de evaluación, gerenciamiento de obras de arte y la gestión ambiental de proyectos.

• **MANTENIMIENTO DE PUENTES Y CAMINOS**

  **Dr. CHANG Carlos**

Ingeniero Civil, con Maestría y Doctorado en la Universidad de Texas A&M. Profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Texas en El Paso (UTEP) y consultor internacional del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

• **PUENTES EN MÉXICO: PROGRAMA DE SEGURIDAD Y SISTEMA DE GESTIÓN**

 **Dr. CARRION VIRAMONTES Francisco**

Jefe de la División de Laboratorios de Desempeño Vehicular y de Materiales del Instituto Mexicano del Transporte.

• **GESTIÓN DE PUENTES Y TÚNELES DE LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES**

 **Ing. DEL CARRIL Tomás**

Socio en Del Carril – Fazio Ing. Civiles. Ingeniero Civil especialista en puentes y otras estructuras especiales. Premio Konex 2013: Ingeniería Civil, Mecánica y de Materiales.

 **Arq. MARISCOTTI Fernando**

Gerente Operativo de Coordinación de Puentes del Ente de Mantenimiento Urbano Integral. Ministerio de Ambiente y Espacio Público - Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

• **VULNERABILIDAD HIDRAULICA DE PUENTES**

 **Ing. DEVOTO Gustavo**

Ingeniero Civil y MSc en Planificación e Ingeniería de los Recursos Hidráulicos. Director Dpto. de Producción y Abastecimiento de Energía Eléctrica, Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE).

## » 7. TRANSPORTE INTELIGENTE

En esta área se desarrollará el **X Congreso Internacional ITS**.

Se expondrá y debatirá sobre el desarrollo y utilización de Sistemas de Transporte Inteligente, como así también todos los aspectos que hacen al ingreso de nuevas tecnologías, a la promoción de la investigación aplicada y a la transferencia tecnológica tanto entre sectores como a nivel internacional.

• **REALIZACIONES ITS 2013-2014 EN RUSIA**

 **Ing. KRUCHKOV Vladimir** 

Presidente de ITS Rusia.

• **REALIZACIONES ITS 2013-2014 EN CHILE**

 **Ing. MINTEGUIAGA Jorge** 

Presidente de ITS Chile.

• REALIZACIONES ITS 2013-2014 EN BRASIL

 **Ing. CHEQUER Jabour** 

Presidente de ITS Brasil.

• MESA REDONDA: SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁNSITO

 **Ing. GOLOUBINTSEFF Boris** 

Responsable de Ingeniería de Tránsito de la División Tránsito y Transporte. Intendencia de Montevideo, Uruguay.

 **DI. FARIÑA YÚFERA Fernando**

Municipalidad de La Matanza.

## » 8. AMBIENTE

El cambio climático es uno de los mayores problemas globales que enfrenta el desarrollo de cara al futuro y el transporte (de cargas y pasajeros) es uno de los principales responsables de la emisión de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, el sector tiene una gran responsabilidad en la lucha para lograr un acuerdo climático efectivo y proveer un incentivo hacia el desarrollo sostenible.

La República Argentina presenta un fuerte compromiso de acción, que se materializa mediante la promoción de iniciativas de mejoramiento de la sostenibilidad del sector transporte, promoviendo proyectos que limiten el crecimiento de emisiones, siempre y cuando estos no comprometan el desarrollo nacional.

• MESA REDONDA: MOVILIDAD SUSTENTABLE Y ACCIONES DE CONTROL DEL IMPACTO AMBIENTAL

 **Ing. REBAGLIATI Ricardo**

Ingeniero Agrónomo, especializado en Protección del Ambiente. Consultor independiente. Ex Director de la carrera de Especialización en Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería - UBA.

 **Dr. BIDONDO Alejandro**

Coordinador de la Carrera de Ingeniería de Sonido de la Universidad Nacional de Tres de Febrero.

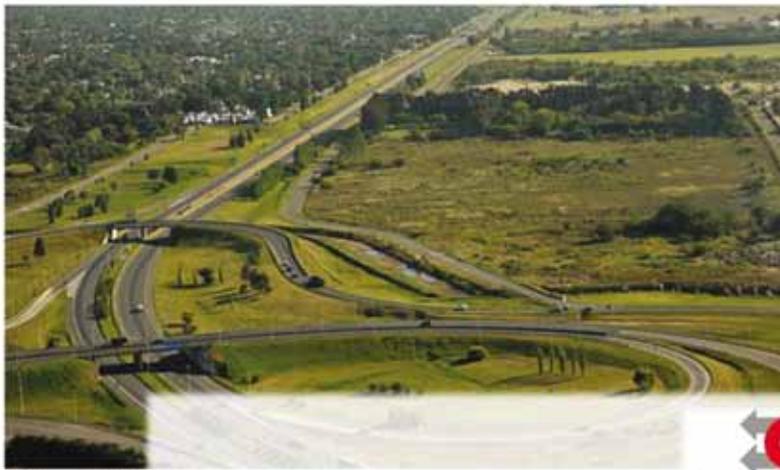
 **Dra. TESTONI Mariana**

Directora de Estudios Ambientales de Cadia S.A. (Consultores Argentinos Asociados S.A.). Especialistas en Ingeniería y Ambiente.

 **Arqueólogo VITRY Christian**

Profesor e investigador. Consultor independiente de evaluaciones de impacto arqueológico. Coordinador del Programa "Qhapaq Ñan - Sistema Vial Andino" de la Dirección General de Patrimonio Cultural, Ministerio de Cultura y Turismo de la Provincia de Salta.

DESTACADOS ORADORES NACIONALES Y EXTRANJEROS PERMITIRÁN A LOS ASISTENTES TOMAR CONTACTO CON TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS EXPERIMENTADAS Y APLICADAS LOCALMENTE Y EN OTROS PAÍSES.



**CHEDIACK**

*Una presencia permanente en la construcción y mantenimiento de las rutas argentinas*



Shell Bitumen

100  
AÑOS  
1914 = 2014



# SHELL CARIPHALTE AM3

La fórmula ganadora  
para exigencias extremas.



Technical  
Partner



Scuderia  
Ferrari

# INGENIERIA VIAL Y DE TRANSPORTE



Diagonal 74 N° 483 - (B1902DMS) La Plata - ARGENTINA  
Teléfonos: 54 221 424 5176 - Fax: 54 221 483 8028  
E-Mail: info@gagotonin.com.ar - www.gagotonin.com.ar

- Proyectos
- Dirección e Inspección de Obras
- Auditorías Técnicas
- Gestión del Mantenimiento en Redes Terciarias

CONSTRUIAMOS CAMINOS  
HACIA EL PROGRESO



ROVELLA CARRANZA

Pavimentación Conexión Vial La Rioja | Chilecito por El Velazco  
Prov. de La Rioja





# AUTOPISTA RIBEREÑA

## Alternativas para la materialización de una obra imprescindible que permitirá completar la conexión Norte-Sur

Con variaciones y circunstancias, se calcula que en el eje conformado por las avenidas **Madero e Ing. Huergo circulan unos 25.000 vehículos por día en sentido ascendente y alrededor de 18.500, en sentido descendente**, incluyendo autos y todo tipo de camiones y colectivos.

Además, el tránsito se mantiene parejo desde las 7 de la mañana hasta las 9 de la noche, lo que genera una operación conflictiva y peligrosa por la convivencia de autos y camiones.

Como consecuencia de ello, **somos testigos de una mayor contaminación, un alto índice de accidentes, mayores costos de operación y un bajo nivel de servicio.**

La construcción de la demorada **Autopista Ribereña** generaría un importante alivio y mejoraría la operatividad del transporte en general y del tránsito pesado en particular en la zona aledaña al Río de la Plata.

### ANTECEDENTES

En 1969 se encaró un estudio integral de transporte aplicando metodologías y modelos de simulación avanzados: el **Estudio Preliminar del Transporte de la Región Metropolitana (EP-TRAM)**. Este estudio, a cargo de un equipo multidisciplinario

conformado por prestigiosos especialistas, fue desarrollado a lo largo de dos años, con un horizonte previsto para el período 1970-2000.

Las conclusiones de ese programa propusieron diversas soluciones para el sector ferroviario, los subterráneos y los proyectos viales. Entre ellos, se incluía la construcción de las siguientes autopistas:

- Autopista Buenos Aires – La Plata
- Autopista 25 De Mayo – Perito Moreno
- Autopista Central
- Autopista Costera de la Ciudad de Buenos Aires

En el caso de la Autopista Buenos Aires – La Plata, su origen era la intersección de las actuales avenidas Ing. Huergo y Brasil y culminaba en la ciudad de La Plata.

Por su parte, la Autopista Costera comenzaba en la intersección de las Avenidas Lugones y Gral. Paz y se empalmaba con la Autopista La Plata – Buenos Aires a la altura de las avenidas Ing. Huergo y Brasil. En ambos casos, con trazados sensiblemente paralelos a la costa del Río de la Plata.

La Autopista Costera se proyectó en este estudio como una unidad funcional indivisible conformada por la actual Autopista Illia, la Autopista Buenos Aires – La Plata y la Autopista Ribereña, que deberá enlazar ambas vías rápidas. La falta de concreción de esta carretera rompió la funcionalidad del proyecto original de la Autopista Costera.

Hace más de 30 años (en 1983) se licitó por primera vez la construcción de la Autopista Ribereña, junto con la concesión de la Autopista Buenos Aires - La Plata. Sin embargo, por diversas razones, nunca se concretó su construcción.

En 2006 se realizó un nuevo llamado a Licitación Pública Nacional para la elaboración del proyecto ejecutivo de la “Autopista Ribereña - Tramo: Distribuidor 25 de Mayo – Autopista Buenos Aires – La Plata hasta empalme Autopista Arturo Illia”, pero nunca llegó a adjudicarse.

Actualmente, la falta de esta conexión implica volcar a las congestionadas arterias del centro de la ciudad y de Puerto Madero un tránsito que debiera eludirlas y que realiza viajes pasantes en sentido norte - sur. La Autopista Ribereña es un eslabón faltante de la red de accesos ya existente y su necesidad se refuerza ante la permanencia en el uso del Puerto de Buenos Aires.

#### Los principales beneficios que se van a obtener al completar el anillo vial con la construcción de esta autopista son:

1. Obtener la continuidad norte – sur para el tránsito pasante (sin origen ni destino en la Ciudad de Buenos Aires), conformado por automóviles, ómnibus y camiones.
2. Evitar que el tránsito liviano pasante en sentido norte-sur y viceversa deba incorporarse inevitablemente a la trama urbana, en especial a las avenidas 9 de Julio, Paseo Colón y Leandro N. Alem.
3. Evitar que el tránsito pesado pasante en sentido norte - sur y viceversa deba incorporarse inevitablemente al eje Ing. Huergo y Madero, descongestionando estas avenidas para permitir grandes ahorros de tiempo y combustible y mejorar así el impacto ambiental de la zona.
4. Cerrar el anillo de circunvalación a la Ciudad de Buenos Aires en el sector paralelo al Río de La Plata.
5. Captar fundamentalmente el tránsito de ómnibus y camiones para impedir que circule por arterias de la trama urbana.
6. Canalizar el tránsito con origen o destino en la terminal de ómnibus de Buenos Aires y toda la zona portuaria y permitir un acceso directo a través de una vía rápida y segura como es una autopista.

7. Permitir la creación de un par circulatorio entre las actuales avenidas Alicia Moreau de Justo e Ing. Huergo – Madero entre Retiro y Av. Brasil con sentido sur - norte para la primera y norte - sur para la segunda.

8. Dar solución definitiva a la actual congestión del nudo Brasil – Huergo - Garay para el tránsito que ingresa o egresa a este sector de la ciudad por las Autopistas Bs. As. – La Plata y 25 de mayo, en especial en los horarios pico.

9. Ordenar el tránsito en la zona de Retiro como consecuencia de la separación entre el tránsito pasante (Autopista Ribereña) y el local.

#### EL COSTO DE NO HABER CONCRETADO LA OBRA

Un documento elaborado por la Academia Nacional de Ingeniería ha estimado el valor económico de algunos beneficios que podrían haberse generado con la construcción de la autopista.

Para este cálculo la ANI solo consideró la disminución de costos de operación de vehículos por menor congestión y disminución de los tiempos de viaje de quienes hubieran utilizado la autopista. En cambio, no se cuantificaron las ventajas de los usuarios remanentes en las otras arterias de las que se derivarán los flujos a la Ribereña, ni los derivados de la disminución de accidentes por las mejores condiciones de seguridad que ofrece una autopista, ni por la disminución de la emisión de gases contaminantes y gases de efecto invernadero, como tampoco por el menor consumo de recursos energéticos no renovables, ni por la disminución de niveles de ruido o el mejoramiento de la calidad urbana y ambiental por la eliminación de la circulación de vehículos pesados por avenidas a nivel.

Una estimación tan conservadora, para el período 1980-2012, a valor presente, con una tasa de interés propia del rendimiento de inversiones libres de riesgo estimada en 4%, arrojó a valores de septiembre de 2012 la suma de 1.796 millones de dólares.

Los resultados demuestran que la no ejecución de las obras implicó una pérdida considerable para la sociedad en su conjunto, muy superior al costo que hubiera insumido la ejecución de la autopista.

## ALTERNATIVAS PARA EL TRAZADO DE LA AUTOPISTA RIBEREÑA

Desde su proyección original, -contemplada en todos los planes de la ciudad al menos desde 1962- diferentes instituciones, ingenieros y arquitectos desarrollaron una gran variedad de propuestas para la construcción de la Autopista Ribereña, de las cuales 26 han tomado estado público. Sin embargo, hoy en día la traza de la Autopista Ribereña aún está por definirse.

La Corporación Antiguo Puerto Madero, cuyos principales accionistas son el Estado Nacional y la Ciudad de Buenos Aires, es actualmente la encargada de evaluar los proyectos acumulados a lo largo de las últimas décadas y proponer la alternativa más conveniente desde el punto de vista técnico y ambiental.

**Según el presidente de la Corporación Antiguo Puerto Madero, el arquitecto urbanista Alfredo Garay, por el momento solo existen dos confirmaciones:**

1. La idea de un recorrido que atraviese la Reserva Ecológica Costanera Sur fue descartada por el impacto que podría provocar sobre ese ecosistema.

2. El futuro tendido no ingresará en la villa 31, por lo que deberá resolverse el llamado "Nudo Retiro", es decir, el enlace con la Autopista Illia, uno de los hitos más complicados de diseñar.

Además, Garay detalló que todas las demás iniciativas permanecen en danza y que se contrataron equipos técnicos para evaluar la factibilidad de todos los proyectos de recorridos acumulados a lo largo de los años. Posiblemente en diciembre de este año se elevará a las autoridades correspondientes una propuesta de traza y de solución tecnológica para el tendido de la Autopista Ribereña.

**Los proyectos con mayores chances de ser seleccionados son tres:**

### • Traza 1

Es un proyecto que propone la realización de la Autopista Ribereña en forma de túnel por debajo de la zona por la que actualmente circula el ferrocarril y están los estacionamientos. Plantea dos calzadas de cuatro carriles por sentido de circulación, con conexiones a nivel a lo largo de su trayecto.

Uno de los extremos del túnel sería a la altura de Dock Sud y otro podría ser a la altura del viejo Hotel de Inmigrantes, en Retiro, o incluso más hacia el norte.

### • Traza 2

El proyecto prevé realizar la unión entre la Autopista Buenos Aires - La Plata y la Autopista Illia también en túnel, pero por debajo de los diques de Puerto Madero. Correría a 12 metros de profundidad con tres carriles por sentido de circulación entre las avenidas Brasil y Antártida Argentina.

Según esta iniciativa, vaciar cada dique de 160 metros de an-

cho por 400 metros de largo y 14 metros de profundidad demoraría sólo dos horas. Luego se dejaría la cota de los diques en 3 metros, para mantener la navegabilidad de los mismos por veleros y embarcaciones pequeñas.

El proyecto recibió el visto bueno del gobierno nacional en 1999 (resolución N° 70), pero se dictó una revocatoria (resolución N° 31/2000).

### • Traza 3

Esta traza, similar a la planteada originalmente, proyecta un viaducto elevado a 9 metros de altura con 3 carriles por sentido de circulación utilizando el sector entre Madero - Huergo y Moreau de Justo, sobre los terrenos que actualmente ocupan diversos estacionamientos y el ferrocarril.

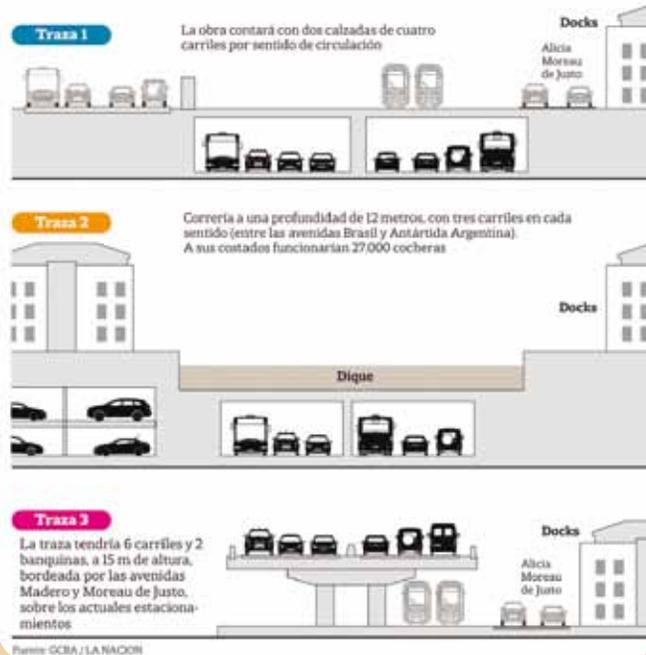
Entre los condicionantes del proyecto se pueden mencionar la presencia del Edificio Guardacostas a la altura de la calle Perón y las conexiones a viaductos existentes en los extremos.

Existe una diversidad de alternativas adicionales, entre las que se pueden mencionar realizar la autopista en trinchera, a nivel o en viaducto a doble altura sobre edificios.

## OPCIONES EN ESTUDIO

### Las trazas propuestas para la autopista Ribereña

- 1 En túnel y con conexiones a nivel en su trayecto
- 2 En túnel por los diques de Puerto Madero
- 3 Traza elevada por los docks de Puerto Madero
- 4 Traza por la Reserva Ecológica descartada



## CONCLUSIONES

Diversos informes existentes consideran que las alternativas de viaducto en altura resultarían las más convenientes, dadas sus ventajas en cuanto a aportar la solución necesaria al tránsito con menores costos de construcción, operación y mantenimiento.

Realizar túneles o trincheras implica la necesidad de sortear innumerables interferencias, entre las que se pueden mencionar desagües pluviales y cloacales, cañerías de agua potable, instalaciones de gas, redes eléctricas y de televisión por cable, entre otros. También implica la creación de un sistema de seguridad y planes de contingencia de mayor complejidad.

Además, este tipo de solución no resuelve el paso de la totalidad de los camiones ya que por los túneles no pueden pasar vehículos de gran porte o aquellos que trasladen líquidos inflamables o mercancías peligrosas.

La solución de viaducto en altura cuenta, además, con otras ventajas:

- Es la menos conflictiva para el tránsito pues permite la continuidad del sistema de autopistas sin impedir la circulación transversal, que se producirá a nivel.
- No es necesario variar el nivel altimétrico, lo que sería inevitable en cualquier otra opción ya que las Autopistas Buenos Aires – La Plata, 25 de Mayo e Illia son elevadas.
- Permite resolver adecuadamente las conexiones con la ciudad por medio de las principales avenidas este - oeste: Córdoba, Corrientes, Belgrano e Independencia.

Para que haya un impacto positivo en la movilidad y el desarrollo urbano, se necesita completar el sistema de autopistas con la concreción de la Autopista Ribereña, de modo de absorber el flujo de camiones y tránsito pasante y así disminuir tiempos de viaje y minimizar la polución.

El hecho de no haber construido la Autopista Ribereña en el momento en que fue proyectada y licitada ha significado un sobre costo de operación y tiempo muy superior al que hubiera costado la obra.

Cada proyecto presenta desafíos técnicos importantes, pero se debe poner especial énfasis en el pragmatismo y la necesidad de encontrar una alternativa factible en términos técnicos, económicos, financieros y políticos para posibilitar su concreción.

## OTRAS OBRAS PENDIENTES

Existen otras obras pendientes de ejecución en la región metropolitana sobre las que ya hemos dado cuenta en esta revista.

Una de ellas es la vinculación del Acceso Oeste con la ya construida Autovía Luján - Mercedes, que somete a miles de vehículos todos los días a innumerables trastornos y costos operativos por tener que transitar desde una autopista hacia una autovía a través de un camino de dos carriles, que atraviesa una zona urbana y utiliza el viejo y angosto puente de la Ruta Nacional N°5, con demoras importantes dado que no admite el paso simultáneo de dos camiones de porte.

También podemos mencionar la demorada Autopista Presidente Perón -cuya importancia ha sido desarrollada extensamente en esta revista-, que representa un perjuicio permanente y creciente para el desarrollo del conurbano bonaerense y el transporte regional ya que potenciaría el acceso al Puerto de La Plata.

En tercer lugar, debemos destacar la falta de conexión de la Autopista Ezeiza - Cañuelas en su continuidad con la Ruta Nacional N°3 hasta Monte. En el último tramo de la autopista, en Cañuelas, existe un enlace que registra mucho tránsito y resulta muy peligroso. Al llegar a la rotonda con la RN N°3 se debe tomar un camino de solo dos carriles en muy mal estado de conservación, que atraviesa una zona urbana que incluye, además, un cruce ferroviario hasta empalmar con el tramo de autovía hacia San Miguel del Monte.

Es imprescindible dar una pronta solución a estas obras, considerando fundamentalmente la relación costo - beneficio.

Toda obra vial puede afectar legítimos derechos de los habitantes de una zona determinada, pero esto no debe afectar el juicio de aquellos que tienen la facultad de decidir: funcionarios, jueces y fiscales, quienes antes de tomar determinaciones deberían requerir los estudios pertinentes para que prevalezca el bien común.

Toda nuestra red vial afectó diversos intereses durante su crecimiento y desarrollo. De todos modos pudo concretarse, no solo porque la ley le otorgó facultades concretas a los organismos viales, sino porque todos quienes actuaron desde distintas funciones en los más de 100 años de desarrollo organizado de nuestra red vial observaron el interés general por sobre el interés particular o sectorial.

Esperemos que el sentido común vuelva a primar y podamos tener un sistema vial más ágil al servicio de toda la población. •

# Señalar

señalización vial



FABRICANTE  
Certificado  
de Señalización Vial

LÁMINAS  
REFLECTIVAS  
con sello  
**IRAM**



## SEÑALIZACIÓN VIAL

- Carteles
- Señales
- Ménsulas - Pórticos
- Columnas de Alumbrado
- Estructuras Metálicas

Fabricante Certificado  
Señalar SRL  
Tel. 0341 457 457 7 - 456 4343  
carteles@senalar.com.ar  
Brasil 151 - Rosario  
**senalar.com.ar**



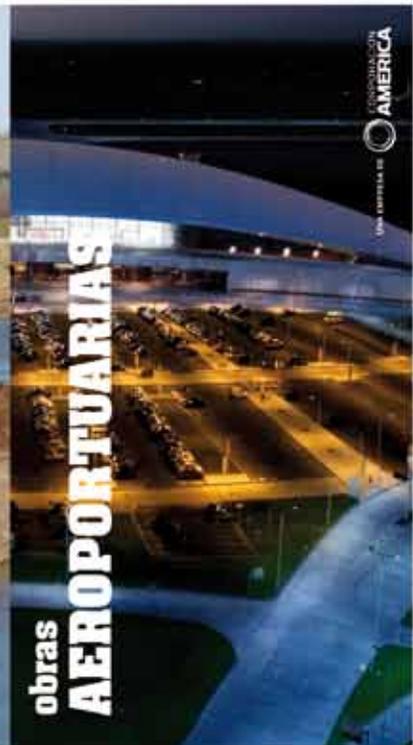
obras  
**CIVILES**



obras  
**VIALES**



obras  
**HIDRÁULICAS**



obras  
**AEROPORTUARIAS**

CONSTRUIMOS  
AMERICA

CONSTRUIMOS, MANTENEMOS, CREAMOS.  
[www.arhelpport.com](http://www.arhelpport.com)



## ACCIDENTOLOGÍA VIAL EN

# Autovía Ruta Nacional N° 14

Por: Ing. Miriam Battisti

Jefa Sección Proyectos 17° Distrito - Entre Ríos, Dirección Nacional de Vialidad

La **Ruta Nacional N° 14**, una de las rutas más transitadas del país por ser un punto clave de ingreso del tráfico comercial desde Brasil, se desarrolla al este de las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones.

Popularmente era conocida con el nombre de “**Ruta de la Muerte**” a causa de la cantidad y gravedad de los siniestros viales que allí se producían.

La fluidez y seguridad del tránsito, la mayor capacidad de transporte, el incremento del turismo regional, la instalación cotidiana de nuevas empresas y los numerosos beneficios para las distintas localidades de la cuenca del Río Uruguay son señales visibles de la relevancia que tiene la **transformación en autovía de la Ruta Nacional N° 14**, llevada adelante por la D.N.V. entre los años 2006 y 2012. No es casual que la misma resultase seleccionada por la Asociación Argentina de Carreteras como la “**Obra Vial del Año**” en 2013.

Pese a esta fuerte inversión económica, técnica y profesional, en la actualidad se siguen registrando accidentes en la Autovía **Ruta Nacional N° 14**, los cuales constituyen en muchas oportunidades motivos de críticas infundadas. Esto llevó a que desde el 17° Distrito de la Dirección Nacional de Vialidad, Entre Ríos, se iniciara un análisis exhaustivo de la situación.

Para ello se recabaron datos de accidentes de tránsito, conteo de tránsito medio diario anual (TMDA) y registros de velocidad. Luego se procedió a acotar el análisis a los tramos desarrollados entre la intersección con la Ruta Provincial N° 20 -en la localidad de Gualaguaychú- hasta el límite con la provincia de Corrientes, por ser estos los tramos que se ejecutaron y habilitaron simultáneamente.

## ANÁLISIS ACCIDENTOLÓGICO

El análisis de accidentes abarcó los años comprendidos entre 2000 y 2013 inclusive; siendo necesario complementar la base de datos del 17° Distrito con los registros obtenidos por el O.C.CO.VI., por tratarse de una ruta concesionada.

De una primera evaluación los resultados evidenciaron una preponderancia en las **salidas de vía o vuelcos** para la configuración

de autovía y una notoria disminución de los choques de frente en comparación con la configuración de calzada bidireccional.

## ANÁLISIS COMPARATIVO

Una vez definido el tramo, y teniendo en cuenta que los trabajos se iniciaron en el año 2006, se decidió ahondar en un análisis comparativo entre el año 2005 (anterior al inicio de las obras) y el año 2013 (primer año con configuración de autovía en toda su extensión).

En el **Gráfico 1**, además de visualizar los diversos tipos de accidentes, se puede observar el número total de siniestros registrados, evidenciándose un incremento del 47% interanual, sin dejar de lado que el TMDA aumentó aproximadamente el 80% en el mismo período.

Como ya se mencionara, del análisis de la tipología de accidentes, se pudo determinar un incremento sustancial en aquellos producidos por despistes o vuelcos, como así también una considerable disminución de los accidentes por colisiones frontales (accidentes más graves). En menor medida se vieron incrementados los accidentes de cola y disminuyeron los choques laterales. Respecto a otro tipo de accidentes no se profundizó en el análisis por no estar estrechamente relacionados a la configuración de la vía.

En referencia a la cantidad de **accidentes mortales**, es de destacar que en el año 2005 representaban un 12% sobre la totalidad de accidentes, pero este porcentaje disminuyó a un 6% en el año 2013.

Asimismo, se observa que el número de **víctimas mortales** registró una disminución del orden del 47% con la habilitación de la autovía, mientras que el número de heridos se ha visto levemente incrementado. Cabe aclarar que en este concepto se abarca desde los heridos leves hasta los graves.

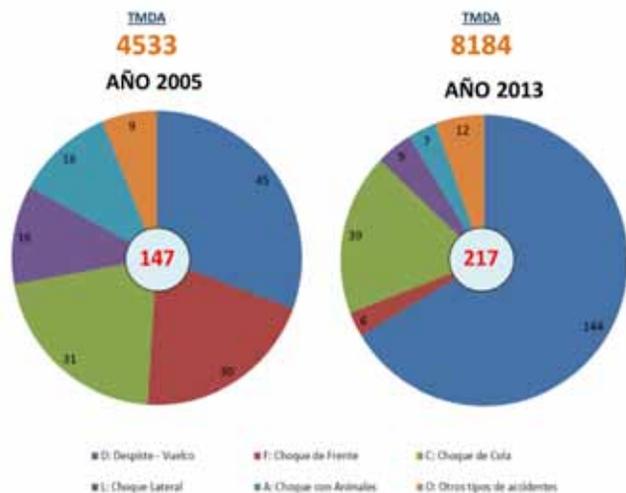


Gráfico 1

## INDICADORES

Teniendo en cuenta que si bien de acuerdo a un primer análisis de la problemática se refleja una sensible disminución tanto en la cantidad de accidentes mortales registrados como en el número de víctimas mortales y que a fin de poder ponderar esta nueva situación es necesario combinar estos valores con el grado de exposición a través del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), es que se procedió a verificar el comportamiento de los diferentes indicadores.

En el siguiente cuadro se presentan los valores determinados para los tres índices adoptados por esta repartición tanto para el año 2005 como para el año 2013, y se resalta la disminución evidenciada en cada uno.

<b>ÍNDICE DE PELIGROSIDAD (IP):</b> Cantidad de accidentes con víctimas por cada 100 millones de vehículos - kilómetro		
<b>IP<sub>2005</sub> = 18,55</b>	<b>IP<sub>2013</sub> = 16,09</b>	<b>→ -13%</b>
<b>ÍNDICE DE ACCIDENTES MORTALES (IAM):</b> Cantidad de accidentes mortales por cada 100 millones de vehículos - kilómetro		
<b>IAM<sub>2005</sub> = 3,80</b>	<b>IAM<sub>2013</sub> = 1,74</b>	<b>→ -54%</b>
<b>ÍNDICE DE MORTALIDAD (IM):</b> Cantidad de muertos por cada 100 millones de vehículos - kilómetro		
<b>IM<sub>2005</sub> = 5,81</b>	<b>IM<sub>2013</sub> = 1,88</b>	<b>→ -67%</b>

## VELOCIDAD

Volviendo al análisis de la tipología de accidentes, podemos observar un gran aumento en los despistes o vuelcos, los cuales se encuentran directamente relacionados con la velocidad de circulación.

El **Gráfico 2** muestra el percentil 85 de velocidad medido sobre esta ruta a través de equipos electrónicos de conteo.

El percentil 85 de velocidad se refiere a que el 85% de los vehículos transitan a esa velocidad (o menor), es decir que hay un 15% de vehículos que transitan a una velocidad superior a la indicada.



Gráfico 2

Podemos observar en las barras rojas, correspondientes a la ruta con su configuración de autovía, que hubo un aumento en la velocidad de circulación, que supera ampliamente la velocidad máxima permitida de 120 km/h en una autovía o semiautopista, tal como lo establece la Ley de Tránsito.

En este punto debemos poner énfasis en el concepto de **“Velocidad de Diseño”**, que se define como **“la velocidad a la que puede circular con seguridad en todos los puntos de una sección de camino un conductor con habilidad media, manejando un vehículo en condiciones mecánicas aceptables, en una corriente de tránsito con volúmenes que no influyan en la elección de su velocidad, cuando el estado del tiempo, de la calzada y de la visibilidad ambiente son favorables.”**

En esta institución, sabemos que somos los responsables directos del **Factor Infraestructura** y que, de acuerdo a diferentes estudios, a este factor se le puede atribuir entre el 2 y el 3% de los siniestros; por lo que si atendiéramos únicamente a este dato, poco podríamos hacer para la mejora de la seguridad vial.

Sin embargo, la *interacción de la vía y el factor humano* explica casi un 30% de los siniestros, razón por la cual resulta indispensable al momento de diseñar una ruta tener en cuenta el factor humano para su concepción, construcción y explotación.

Debido a esto, Vialidad Nacional atendió a la imperiosa necesidad de un cambio en la infraestructura de la Ruta Nacional N° 14, aumentando su capacidad a través de una inversión de gran envergadura para su transformación en autovía, contemplando un diseño consistente, con condiciones de seguridad en las márgenes, sistemas de contención, una correcta demarcación y cuidados ambientales apropiados.

Pero este trabajo no culminó al momento de inaugurar las obras, sino que actualmente se continúan estudiando los diferentes causales de siniestros, actuando ante eventualidades que surgen en la vía, con presencia en las rutas a través de campañas de concientización e información, participación en escuelas con programas de educación vial para los niños y stands en eventos públicos para difundir la educación vial. Todo ello, para mostrar a los usuarios que el respeto a las normas de tránsito salva vidas. •



En conclusión, podemos decir que un correcto diseño vial, si no se encuentra acompañado por el respeto a las normas de tránsito por parte de los usuarios, deja de ser un diseño seguro.

## TELEPEAJE Online



Adquirí tu TELEPEAJE desde nuestra página Web  
y recibilo por correo ¡TODO SIN MOVERTE DE TU CASA!

Utilízalo en toda la Red de Autopistas.

[www.ausur.com.ar](http://www.ausur.com.ar)



TELEPEAJE

Adherite y accedé  
a esta nueva experiencia  
[www.ausur.com.ar](http://www.ausur.com.ar)  
0800-999-9999



Atención al Cliente y otras  
consultas, informate al  
0800-999-0800



SOS Ausur.  
Estamos para ayudarte  
0800-999-9919



CÁMARA ARGENTINA  
DE LA CONSTRUCCIÓN

# PASIÓN POR CONSTRUIR *y por comunicarlo*

Nº 1261 // MAYO 2014



RELANZAMOS NUESTRA REVISTA INSTITUCIONAL  
“CONSTRUCCIONES”

[www.camarco.org.ar](http://www.camarco.org.ar)



**ENERGÍA  
PARA HACER.  
CAPACIDAD  
PARA  
RESPONDER.**

---

**Estamos diariamente junto a cada cliente vial, garantizando calidad de respuesta tanto en entrega de producto, como en asesoramiento técnico.**

Renovando el compromiso y ayudando a construir nuevos caminos que permitan conectar más comunidades.

Servicio de Atención al Cliente:  
0810-810-8888  
[www.petrobras.com.ar](http://www.petrobras.com.ar)

**PETROBRAS**

---

**ASFALTOS**

## INFRAESTRUCTURA VIAL

Puentes Arco - RN 150



# PUENTES ARCO - RUTA NACIONAL N° 150

Por el Departamento Técnico de Pavimentos del Instituto del Cemento Portland Argentino



La RN 150 tiene su origen en la intersección con la RN 38 en la localidad riojana de Patquía y continúa en dirección este-oeste atravesando el norte de la provincia de San Juan, pasando por las localidades de Baldecitos, Ischigualasto, Huaco, San Roque, Jáchal, Rodeo, Las Flores, Guardia Vieja y Arrequeintín, hasta el límite internacional con Chile, en el Paso de Agua Negra, donde se emplazará el túnel internacional que llevará el mismo nombre.

Esta ruta constituye parte del **Corredor Bioceánico Central**, que conecta el puerto chileno de aguas profundas de Coquimbo, con el puerto de Porto Alegre, permitiendo su vinculación con los núcleos productivos de La Pampa Húmeda, el Litoral y el Norte Argentino. También permitirá captar tránsito de carga de las Rutas Nacionales 19 y 38, con destino a Chile, constituyendo una vía alternativa a la Ruta Nacional 7 en el Paso Cristo Redentor, y originará un impacto positivo sobre la economía y el turismo de la región.

Este emprendimiento está compuesto por 6 obras simultáneas con una longitud aproximada de 156 km. Cuenta con 12 puentes, 6 túneles, travesías urbanas, empalmes, derivadores, muros de contención, más de 500 alcantarillas, mallas de contención y barreras dinámicas para el control de desprendi-

mientos de rocas y rampas de escape. Ha significado un gran desafío de ingeniería, especialmente en aquellos sectores de traza nueva, en donde hubo que atravesar cerros y quebradas, y explorar lugares hasta entonces inaccesibles.



Figura 1: Defensas de hormigón, alcantarilla prefabricada y postesada y portal de entrada de uno de los túneles, minimizando el impacto ambiental en medio de un paisaje de cerros y quebradas.



## Los Puentes Arco

Una de las singularidades que representó una innovación en el ámbito vial nacional, fue el método constructivo utilizado en dos puentes arco de hormigón, que no se encontraban en el proyecto original y que fueron incorporados para sustituir uno de los túneles en el tramo de Quebrada de la Peña. Estos puentes, de hormigón armado y postesado, empleados para salvar el cauce del río Agua de la Peña, fueron confeccionados en fábrica, trasladados pieza por pieza y finalmente montados en obra.

El material de arrastre y el caudal, típico de la época estival con presencia de crecidas, son propensos a erosionar las bases de las pilas, en esta zona del río de la Quebrada de la Peña, donde este se estrecha considerablemente. Además, cuando se producen grandes crecidas, puede llegar a producirse el arrastre de rocas de gran tamaño que pueden colisionar con las pilas. Por estos motivos, para no interferir con el curso del río, se optó por no colocar pilas en el medio del cauce y se consideró el diseño en forma de arco.

Distanciados cerca de 180 metros, el Puente 4 es el más grande, con una longitud aproximada de 90 metros, se desarrolla en línea recta a una altura de 24 metros. Por otro lado, el Puente 5 lo hace en curva, con un radio de 160 metros y un peralte del 7%, tiene 65 metros de longitud y 22 metros de altura. En ambos casos, la pendiente longitudinal es menor al 3%.

En conjunto demandaron el consumo de 150 toneladas de acero y 840 metros cúbicos de hormigón, utilizando hormigón Clase H38 para las vigas de arco y las vigas del tablero, y H30 para el resto de la estructura. El traslado de los elementos prefabricados implicó el transporte por carretera de más de 1900 toneladas de hormigón.

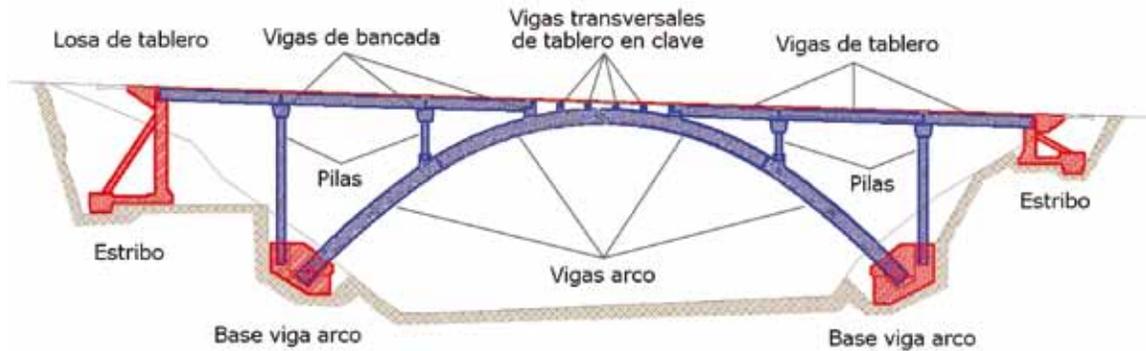


Figura 3: Esquema del Puente 4 con los elementos de hormigón armado in situ (en rojo) y los prefabricados (en azul).

## La Estructura

La estructura de los puentes está compuesta por una parte hormigonada in situ, que incluye los estribos, las bases de las vigas arco y la losa de tablero, y otra prefabricada (Figura 3). Los elementos premoldeados fueron trasladados y ensamblados en obra e incluyen, las vigas arco y sus correspondientes vigas transversales, las pilas y sus vigas transversales, las vigas de bancada, las vigas transversales de tablero en clave, las vigas longitudinales de tablero y las prelasas; estas últimas utilizadas como encofrado perdido para la ejecución del tablero.

Por las condiciones del terreno, en el caso particular del Puente 5, los arcos y las pilas se fundaron sobre bases rectangulares de hormigón armado, ancladas mecánicamente mediante pernos de 8 metros de longitud para mejorar el confinamiento del macizo.

La estructura del arco está compuesta por dos arcos premoldeados iguales, paralelos entre sí, separados 5,40 metros y unidas por vigas transversales. Las vigas arco tienen una sección "I" de 1,45 m de altura y 1,40 m de ancho de alas.

Las vigas de bancada se encuentran montadas sobre pilas que apoyan en los arcos y tienen un ancho de 1,60 metros y una altura de 1,20 metros. Todas son prefabricadas y ahuecadas para alivianar su peso y facilitar las tareas de montaje.

Con excepción de la zona de la clave, la losa del tablero se apoya sobre cuatro vigas longitudinales pretensadas y prefabricadas, distanciadas a 2,60 metros. En la clave, apoya sobre los arcos a través de cuatro vigas transversales conectadas a éstos. Además, se dispone un tabique de acoplamiento longitudinal hormigonado in situ de 0,50 metros de espesor y altura variable, que vincula los arcos con la losa del tablero y les otorga monolitismo.

La sección transversal del tablero comprende una calzada de dos carriles de 3,35 metros cada uno, con banquetas de 0,80 metros a cada lado de los bordes de carril, conformando una calzada vial delimitada por cordones no montables sobre los que se disponen defensas vehiculares metálicas. Adicionalmente se disponen a cada lado veredas de 0,80 metros de ancho, que sumadas a las banquetas y demás elementos accesorios conforman un ancho total de tablero de 10,8 metros.

En el caso del Puente 5, por desarrollarse en curva, el tablero cuenta con una pendiente transversal del 7%, según puede observarse en la Figura 4.

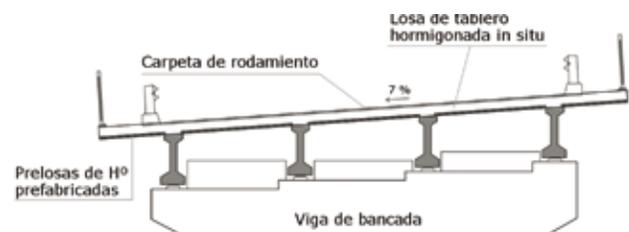


Figura 4: Elementos de la sección transversal del Puente 5.

Las calzadas y veredas se materializan en hormigón armado, colado in situ, sobre encofrado perdido de prelasas de hormigón. En la zona de calzada se dispone una carpeta de rodamiento de 0,04 metros de espesor.

## Montaje

Una vez realizados los estribos y las bases de los arcos, se comenzó con el montaje de los elementos prefabricados, que se llevó a cabo uniendo cada una de las piezas que componen el arco como si fuese un "Mecano". En primera instancia se colocaron las pilas en las bases ejecutadas in situ y se unieron mediante vigas transversales. Luego, sobre dicha estructura se montó la viga de bancada.

En cuanto a los arcos, cada uno de ellos está compuesto por dos vigas paralelas divididas en cuatro tramos prefabricados: dos con rótula y dos con clave, y vinculados mediante vigas transversales (Figura 5).

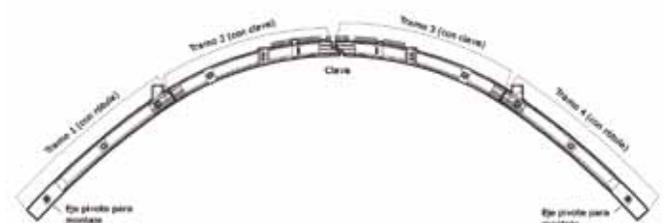


Figura 5: Tramos de viga arco.

Para conformar el primer semiarco, a nivel del suelo, se unieron los tramos 1 y 2 de cada viga arco y se vincularon entre sí a través de vigas transversales (Figura 6). Para hacer factible el izaje, el armado se realizó articulando un extremo con la base, mediante la rótula, y apoyando provisoriamente el extremo con clave sobre dados de hormigón.



Figura 6: Puenete 5. Vista del semiarco ensamblado y listo para izaje.

Posteriormente se procedió a su izaje mediante un sistema auxiliar diseñado solo a este efecto (Figura 7). El semiarco desde la cuna hasta la clave se izó gradualmente con la ayuda de gatos hidráulicos pivotando en la articulación hasta alcanzar la altura definitiva. Este trabajo demandó aproximadamente unas 8 horas.



Figura 7: Sistema auxiliar de izaje.

Una vez izada la primera mitad del arco, se procedió de la misma manera con los tramos 3 y 4 del segundo semiarco y finalmente se unieron ambas secciones en la clave. Es necesario resaltar el alto grado de precisión con que debieron realizarse las tareas de armado y montaje de cada uno de

los elementos, para que ambas mitades del arco coincidieran a la perfección en la unión en la clave.



Figura 8: Puenete 5. Vista de los dos semiarcos armados con uno de ellos ya izado, en espera del otro.

En todas las uniones se utilizaron barras pasantes tensadas con gatos hidráulicos desde los extremos (Figura 9), con el posterior rellenado de las vainas mediante inyecciones de grout cementicio (Figura 10). Para el montaje se utilizó una grúa de 300 toneladas para los diferentes elementos prefabricados y dos de 50 toneladas para dar apoyo a los trabajos de altura.



Figura 9: Barras postesadas en las uniones.



Figura 10: Rellenado de las vainas con inyección de grout cementicio.

Sobre el arco armado, se ubicaron los elementos prefabricados para recibir las vigas de tablero, que se montaron junto con las prelasas (Figura 11). Una vez colocados todos los elementos prefabricados, se materializaron in situ el tablero y las losas de aproximación.



Figura 11: Puentes Arco en etapa de montaje.

estructuras provisionarias sobre la cuenca ante una eventual crecida. Es de destacar que el caso de los puentes arco resultó ser uno de los desafíos más significativos que ha sorteado con éxito este emprendimiento, por tratarse de una obra sin precedentes en nuestro país. •



Figura 12: Ejecución de Tablero en Puentes Arco.

Esta compleja ingeniería permitió salvar las dificultades que hubiera implicado el hormigonado in situ de los arcos, en especial por los riesgos que hubiera significado el armado de

*Fuente: 9° Distrito DNV – San Juan*



**CAMARA ARGENTINA  
DE CONSULTORAS  
DE INGENIERIA**

*50 AÑOS*

# LA CONSERVACIÓN DE LAS CARRETERAS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

**El mantenimiento de las redes viales es y ha sido una preocupación constante para la Asociación Argentina de Carreteras.**

En la Argentina se han desarrollado, a lo largo de los últimos años, modelos exitosos de conservación por resultados que han sido observados e imitados por distintos países de la región.

En la década del '90 surgieron las primeras concesiones por peaje para la rehabilitación y mantenimiento de la red, que subsisten a la fecha en un reformado esquema.

Fue en nuestro país, en la **Dirección Nacional de Vialidad**, donde con el auxilio del **Banco Mundial** surgió el sistema **C.Re.Ma.**: contratos de rehabilitación y mantenimiento que permitieron durante dos etapas -desarrolladas a partir de 1996 -obtener un elevado estado de mantenimiento de más de 12.000 kilómetros de la red vial nacional. Algunas provincias incursionaron en el mismo esquema con la participación del Banco Mundial, aunque en menor proporción.

Sin dudas, como puede observarse al recorrer las rutas conservadas a través de este sistema, se ha dado una solución eficiente al mantenimiento no solo de las calzadas, sino también de las zonas del camino, logrando ausencia de baches y banquetas perfiladas y libres de obstáculos.

**El sistema propone que una empresa privada se haga cargo de la rehabilitación de las calzadas, su mantenimiento y el de toda la zona de camino en un plazo de 5 años.**

El Estado solo prescribe la ejecución de una obra mínima de rehabilitación y es responsabilidad del contratista la elaboración del proyecto ejecutivo y la determinación de todas las tareas necesarias para mantener la ruta en las condiciones que el pliego determina, sin posibilidad de ningún tipo de ajuste, ya que toda la responsabilidad recae en él.

Esto es: la empresa adjudicataria del contrato es la única responsable, lo cual convierte a este sistema en un claro ejemplo de contrato de conservación por resultados, cuya eficacia ha sido reiteradamente defendida por esta Asociación en función

de todas las ventajas que genera. Fundamentalmente, porque da al privado la posibilidad de innovar tecnológicamente y desarrollar nuevas técnicas y productos que se traducen en una economía de obra y una mejor solución técnica.

El mantenimiento de las rutas hoy resulta una inquietud creciente en el mundo entero. Tanto es así que la **Asociación Española de la Carretera** ha difundido el "**Manifiesto a Favor de la Carretera**", y lo incluyó en la plataforma **www.change.org** para sumar adhesiones y firmas en busca de presentar el tema ante los diputados españoles.

Este manifiesto se afirma en conceptos compartidos por nuestra Asociación. En ese sentido, insistimos en la necesidad de dar al mantenimiento, tal como lo reclama la AEC, la atención debida y la correcta asignación de recursos.

Hoy, recorriendo las rutas atendidas con el sistema **C.Re.Ma.**, cuyos contratos han terminado, puede observarse la imperiosa necesidad de que se concreten los nuevos contratos para reemplazar a las empresas que ya han cumplido su tarea.

Mantener la constancia en las tareas de conservación y concretar nuevas obras de rehabilitación resulta impostergable a efectos de no perder la inversión y el esfuerzo realizado en estos 14 años de vigencia del sistema.



## Manifiesto a favor de la Carretera

**El adecuado MANTENIMIENTO de las carreteras ES UNA INVERSIÓN DE PRESENTE Y DE FUTURO. Supone invertir en SEGURIDAD, en EMPLEO, en VERTEBRACIÓN del TERRITORIO, en SANIDAD, en EDUCACIÓN, en OCIO... En BIENESTAR**

### Porque:

- La Carretera es el modo de transporte universal por excelencia, utilizado por el 100% de la población.
- La Carretera es el único servicio público disponible las 24 horas del día y los 365 días del año, tanto para uso individual como colectivo, privado y público.
- La Carretera es una de las fuentes más importantes de generación de ingresos para las arcas públicas: El Estado recauda entre 60 y 70 céntimos de € por cada litro de combustible, lo que, junto con otros impuestos (matriculación, IVA...) se traduce en más de 20.000 millones de € al año.
- La Carretera genera casi un millón de empleos directos y el doble de empleos indirectos.

### Pese a ello, constatamos:

- Que tras este húmedo y largo invierno y como consecuencia de la falta de inversión en conservación, el estado de nuestras carreteras es alarmante.
- Que los poderes públicos están abandonando nuestras carreteras a su suerte, incumpliendo su obligación de mantener adecuadamente el patrimonio viario.
- Que la ausencia de inversión en el mantenimiento de las carreteras se traduce también en un sobrecoste muy importante para los ciudadanos:
  - Mayor riesgo potencial de sufrir un accidente
  - Mayores tiempos de recorrido
  - Mayor sensación de incomodidad y pérdida de confort en la conducción
  - Mayor gasto en combustible
  - Mayor gasto en mantenimiento del vehículo
  - Más emisiones nocivas a la atmósfera
- Que la falta de mantenimiento de las carreteras representa, asimismo, un incremento exponencial de los recursos necesarios para su reparación a medida que el tiempo va pasando, hasta llegar a requerir, incluso, la reconstrucción de la vía.



### Y, por todo ello, reclamamos:

- Que se tramite, por procedimiento de urgencia, una Ley que obligue a las Administraciones Públicas a destinar anualmente los recursos necesarios para mantener las carreteras en un estado adecuado de conservación, tomando en consideración al valor patrimonial de la red.
- Que se aborde de forma prioritaria y en plazos razonables la ejecución de las actuaciones precisas para revertir la alarmante situación de mantenimiento que presenta la red de carreteras española.
- Que, en el proceso de revisión y actualización del vigente Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 (PITVI), se consigne la dotación presupuestaria destinada a su conservación asociando la misma a un porcentaje del valor patrimonial de la Red viaria.

### #FirmaElManifiestoAEC

<http://www.change.org/p/reclamamos-medidas-urgentes-que-obliguen-a-conservar-las-carreteras#> •



**Ing. Jorge Omar Solá Jais**  
Administrador General de la Vialidad  
Provincial de Catamarca

## Buscando la concreción de obras y la penetración a distintas zonas productivas de la provincia



Entrevista con el Administrador General de la Vialidad Provincial de Catamarca  
Ing. Jorge Omar Solá Jais

### 1. ¿Cómo es la actualidad vial de la provincia de Catamarca?

Desde el inicio de la presente gestión, Vialidad Provincial siempre ha tenido en cuenta a todos los departamentos y sus localidades que conforman la geografía provincial, desde los más cercanos hasta los más alejados. Con ello, la obra vial tiende a concretar reales posibilidades de crecimiento y desarrollo de nuestras comunidades y poner en valor las distintas zonas productivas de la provincia.

Y es precisamente en estas comunidades donde se acentúa el accionar social de Vialidad y sus trabajadores; ello queda reflejado en cada intervención para la ejecución de caminos y rutas, cuando el trabajo de hombres y máquinas va mucho más allá de determinada obra, ya que siempre está el aporte a los vecinos que solicitan aperturas de huellas, caminos, emparejamientos de predios, y eso solo lo realiza esta institución.

Ningún departamento se ha visto postergado a la hora de las realizaciones viales. Unos en mayor grado que a otros, de acuerdo a las necesidades de cada caso, pero todos los habitantes de la provincia se benefician y se seguirán beneficiando de la presencia vial en todas las rutas provinciales.

### 2. ¿Qué obras se han realizado durante este último tiempo?

Hemos realizado una gran cantidad de obras. Por ejemplo, recientemente se han inaugurado los trabajos de pavimentación de la Ruta Provincial N° 137, que une las localidades

de Puerta de Corral Quemado y Corral Quemado, al norte del departamento de Belén.

Esta obra, ubicada a 360 kilómetros de la ciudad capital, cuenta con una longitud de 10 kilómetros, donde se realizaron tareas de construcción de muros de sostenimiento, alcantarillas y badenes. Además, el proyecto contempla la colocación de piedra y membranas para evitar la socavación a la salida de las obras de artes previstas. Los trabajos culminaron con la correspondiente señalización horizontal y vertical, redondeando una inversión total de \$25.400.000.

También en la Cuna del Poncho se concretó una obra fundamental para las aspiraciones de desarrollo y crecimiento de las comunidades del oeste catamarqueño, con la pavimentación del primer tramo de 32 kilómetros de la Ruta Provincial N° 46, que comunica los departamentos de Andalgalá y Belén, vía estratégica para el Corredor Bioceánico a través del Paso Internacional de San Francisco.

Además, ya están en ejecución los trabajos de repavimentación de la Ruta Provincial N° 43, en el tramo comprendido entre Los Negros y El Peñón, en el departamento Antofagasta de la Sierra. Se trata de un tramo de 56 kilómetros de longitud, con un ancho de calzada de 6 metros, en donde se colocará una capa de rodamiento de mezcla asfáltica en frío realizada con emulsión y posteriormente se realizará la señalización horizontal y vertical. Es una obra que demanda una inversión de \$28.500.000.

Por otro lado, en el departamento Capayán se ejecutó obra básica y pavimentación de la Ruta Provincial N° 24, desde el empalme con la Ruta Nacional 38, hasta Las Tejas, con su correspondiente señalización. Con una longitud de 6 kilómetros, esta obra responde a la necesidad de los pobladores de las localidades de Los Pocitos, Sisihuasi y Las Tejas. Asimismo, la obra se complementó con la pavimentación del acceso a Colonia del Valle.

### 3. ¿Qué importancia le da la provincia a la obra vial?

Toda obra vial sirve muchísimo para la provincia y para todos sus habitantes. Por ello, para nosotros su realización es de suma importancia y desde la gobernación de la provincia se fomenta continuamente.

Por ejemplo, ya se está trabajando en la construcción de la obra básica, pavimentación y señalización de la Ruta Provincial N° 1 en el tramo Singuil - Progresiva 10.900 y en la construcción del puente sobre el Río Villa Vil, incluyendo defensas de márgenes y accesos, en la Ruta Provincial N° 36, del departamento de Belén.

Estamos hablando de dos obras viales relevantes, una en el oeste y otra en el Valle Central. Se trata de obras anunciadas por la gobernadora Lucía Corpacci el 1 de mayo de este año y que ya están en proceso.

Y son obras de gran importancia porque estamos hablando de la conexión del Valle Central con el Corredor Bioceánico del noroeste, que incluye a la Ruta Provincial N° 48, de Aconquija, hasta Andalgala y, a través de la Ruta Provincial N° 46, conectar con la Ruta Nacional 40 y el Paso Internacional de San Francisco.

Cabe destacar que se trata del primer tramo, que significa para la provincia una inversión de \$32.000.000.

### 4. Muchas veces se menciona la necesidad de mejorar las vías de acceso de la zona de la puna de Catamarca. ¿Se está trabajando en ello?

En cuanto a las obras destinadas a facilitar vías de comunicación adecuadas para las comunidades de nuestra puna catamarqueña, construiremos nueve puentes, especialmente en la zona donde las crecidas de los ríos dejan aisladas a distintas poblaciones. De esta manera daremos respuesta a un reclamo histórico de los pobladores de esta zona, que se agrava en época de lluvias.

Ya se están construyendo dos puentes, uno sobre el río Villa Vil, en la zona que conecta con el departamento Antofagasta de la Sierra, y otro sobre el río Abaucán, en Fiambalá. Después de éstas vienen otras obras, que ya fueron anunciadas por la gobernadora. Ya están los proyectos listos y solo resta buscar las fuentes de financiamiento para poder darle continuidad a estas obras.

El caso del puente sobre el río Villa Vil, en la Ruta Provincial N° 36, que es un obstáculo muy importante que tenemos hasta ahora, es una obra que, incluidas defensas de márgenes y accesos, tendrá un costo superior a los \$18.000.000.

Por su parte, la construcción del puente sobre el río Abaucán, en Fiambalá, facilitará además la comunicación con el destino turístico de Las Termas. Sobre este río también construiremos otros dos puentes, uno en la zona de Banda de Lucero y otro en Medaños, pero estos recién están en la etapa de relevamiento.

Además, tenemos prevista la construcción de nuevos puentes en la Ruta Provincial N° 43, en el paraje Cura Quebrada, y también sobre el río Santa María, en San José Banda y sobre el Río Corral Quemado, en la localidad homónima.



Todos los puentes son importantes y no existen prioridades. Hemos comenzado con el de Las Termas, porque tenemos el proyecto disponible y listo para ejecutar.

### 5. ¿Qué modalidades de trabajo utilizan?

La mayoría de las obras se realiza directamente por administración. De todos modos, es necesario destacar que donde Vialidad no ha podido llegar con la ejecución de obras por administración, lo ha hecho a través de convenios con los municipios de cada zona, para así ejecutar pavimentaciones urbanas en las ciudades y pueblos del interior provincial, realizando badenes, puentes, accesos y diversas obras de arte a la vera de los caminos.

### 6. Balance de lo realizado en la gestión

Si tenemos en cuenta que desde fines del año 2011 hasta hoy hemos concretado la pavimentación de 305 kilómetros de rutas catamarqueñas, debemos necesariamente concluir en lo positivo del accionar del gobierno provincial en materia vial. Y si a ello le agregamos que el 75% de estas pavimentaciones se

realizó por administración, estamos más que satisfechos con lo realizado.

Para concluir debo destacar que estamos en un proceso de compra de nuevo equipamiento para el organismo por valor de 27 millones de pesos, que servirá para reemplazar la maquinaria obsoleta y así aumentar la efectividad de nuestro trabajo. •



# DECAVIAL



EXPERIENCIA CONSTRUYENDO FUTURO PARA LOS ARGENTINOS

DECAVIAL SAICAC

A. Alsina 1450 2º Piso - (C1088AAL) Buenos Aires - Argentina  
Tel/FAX 54-11-4383-0015 al 19 - info@decavial.com.ar www.decavial.com.ar





### MP100

La solución más rápida y económica para obras de infraestructura. En geometrías circulares y abovedadas.



### HEL-COR HC68

Conductos de acero galvanizado corrugado, según normas y planos tipo DNV.

### Tunnel Liner

Estructuras para ejecución de túneles sin interrupción de tránsito. En geometrías circulares y abovedadas.



### Sistemas de Defensas Metálicas

Compuestas por defensas, postes, alas terminales y accesorios según normas y planos tipo DNV.



Río Derey entre Río Pinto y Río Potrero - Barrio Cina Cina (1748) - General Rodriguez - Buenos Aires - Argentina  
Tel / Fax: 4632-6746 / 5599 y 4631-8734 - [www.stacoargentina.com.ar](http://www.stacoargentina.com.ar) - [comercial@stacoargentina.com.ar](mailto:comercial@stacoargentina.com.ar)



# 22

• **Nuevos** pasos bajo nivel construidos •  
Con cada paso bajo nivel, seguimos uniendo a la Ciudad.

## BREVES

NACIONALES E INTERNACIONALES



## Educación vial para docentes

Hace unos meses se anunció el **Programa de Fortalecimiento de la Educación Vial**, impulsado por los **Ministerios de Educación y del Interior y Transporte de la Nación**. Su objetivo es incluir la enseñanza de la educación vial en todas las escuelas del país.

Se informó que en su primera etapa seis millones de alumnos y 350.000 docentes de escuelas públicas y privadas recibirán propuestas de enseñanza y material didáctico para promover un cambio cultural en nuestra conducta vial.

Ya se realizó la inscripción para los primeros cursos de formación docente en educación vial y desde la Asociación Argentina de Carreteras vemos con agrado que se esté implementando rápidamente este tipo de iniciativas.

La educación vial debe ser un proceso educativo integral y permanente para formar a las personas en el uso adecuado, responsable y solidario del espacio público. Por ello, es esencial promover e impulsar una nueva cultura vial a partir del sistema educativo, que apunte a mejorar la calidad de vida de todos los habitantes del país.

**La propuesta está destinada a directivos, docentes, preceptores y tutores de nivel secundario y consta de un curso gratuito de dos meses de duración que prevé instancias de trabajo virtual y presencial.**

El desarrollo de los contenidos se dictará en dos módulos. El primero se refiere a las cuestiones generales de la educación vial, perspectivas y desafíos. El segundo está destinado a trabajar sobre las particularidades locales (provinciales) de la temática.

Este curso se dicta en el marco del **Programa Nacional de Formación Permanente “Nuestra Escuela”**, del **Ministerio de Educación de la Nación**, en conjunto con el **Ministerio del Interior y Transporte** y la **Universidad Metropolitana para la Educación y el Trabajo**.



**Feliz día del camino y del trabajador vial...**



**“Uniando la provincia con rutas seguras”**



## La Asociación Argentina de Carreteras en el Comité de Honor y en la Comisión Permanente del Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial

Reafirmando su presencia internacional, la Asociación Argentina de Carreteras, representada por su presidente, **Ing. Guillermo Cabana**, se incorporó al Comité de Honor del IV Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial (CISEV).

Además, se seleccionó al **Ing. Mario J. Leiderman** para que forme parte del **Comité Científico Internacional** de esta IV edición del CISEV.

En el mismo acto, el **Lic. Miguel Ángel Salvia** se sumó como delegado argentino a los expertos que ya integran la Comisión Permanente de los Congresos CISEV, presidida por el **Ing. Jacobo Díaz Pineda**, presidente de IVIA.

La Comisión Permanente de los Congresos CISEV está compuesta también por el **Ing. Hernán Otoniel Fernández Ordoñez**, catedrático y consultor en seguridad vial y delegado por Colombia, y el **Ing. Germán Valverde**, Director del Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) y representante de Costa Rica.

Con estas incorporaciones, la Asociación Argentina de Carreteras pone de manifiesto, una vez más, su compromiso con la mejora de la seguridad vial, no solo en su país sino en todo el ámbito iberoamericano.

**15 años** financiando el Desarrollo Regional  
y la Generación de Empleo



Fondo Fiduciario Federal  
de Infraestructura Regional  
Ley 24.556

Nuestro Organismo, en sus 15 años de gestión, contribuye a la infraestructura Nacional con más de \$2.614.184.542 en créditos otorgados para más de 366 obras, generando más de 5.954.000 jornales directos de empleo genuino.

Para mayor información visite nuestra web en <http://www.fffir.gob.ar>



**2A** DOS ARROYOS  
CONSTRUCTORA DOS ARROYOS S.A.

50

AÑOS

Desde 1964

*Construimos el camino del progreso*



[www.dosarroyos.com.ar](http://www.dosarroyos.com.ar)

# Trabajos Técnicos

*Trabajos presentados en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito*

## 01. PRESENTACIÓN DE DOS CASOS DE PATOLOGÍAS NO HABITUALES EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN Y PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS.

**Autor:** Dr. Ing. Hugo Daniel **Bianchetto**

## 02. ASFALTOS A BAJA TEMPERATURA Y MODELOS REOLÓGICOS.

**Autores:** Horacio Daniel **Osio**, Jorge Fabián **Coacci**, Claudio Javier **Veloso**

## 03. LOS CAMINOS AUTOEXPLICATIVOS (CAE) - FUNCIONALES, COHERENTES, COORDINADOS, FLEXIBLES, SENSIBLES AL CONTEXTO, INDULGENTES, MÁS SEGUROS Y ECONÓMICOS.

**Autores:** María Graciela **Berardo**, Francisco Justo **Sierra**, Alejandra Débora **Fissore**, Luis Raúl **Outes**

## 04. CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS CLASIFICADOS POR REGIONES, APLICADOS A RUTAS REPRESENTATIVAS DE SAN JUAN". SEGUNDA ETAPA.

**Autores:** Ing. Oscar Mario **Fernández**, Ing. Carlos G. González **Alladio**

**Co-autores:** Dra. Lic. Yanina **Esper Angileri**; Ing. María Eugenia **Ruiz**; Ing. Leonardo J. **Fullana**; Dra. Lic. Nérida Susana **Ozán**

## 05. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TRITURACIÓN/ FRACTURACIÓN (RUBBLIZING) PARA EL RECICLADO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA RUTA NAC. N° A-008 (CIRCUNVALACIÓN DE LA CIUDAD DE ROSARIO), PROVINCIA DE SANTA FE.

**Autores:** Ing. F. **Gerbaudo**, Ing. José M. **Bucciarelli**, Ing. Jorge **Ramoneda**, Ing. Raúl **Yaryez**

# Divulgación

## 01. CARTILLA DE ASFALTOS PARA USO VIAL #1

*Trabajo publicado en la Revista Carreteras N°188 de la Asociación Española de la Carretera*

## 02. SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN MEDIANA. DISPOSICIÓN MÁS SEGURA.

**Autores:** Sergio **Panadero Calvo**, Pablo Pérez De **Villar Cruz**

La dirección de la revista no se hace responsable de las opiniones, datos y artículos publicados. Las responsabilidades que de los mismos pudieran derivar recaen sobre sus autores.

# PRESENTACIÓN DE DOS CASOS DE PATOLOGÍAS NO HABITUALES EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: DIAGNÓSTICO, SOLUCIÓN Y PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

## AUTOR:

Dr. Ing. Hugo Daniel Bianchetto

## RESUMEN

Se presentan dos casos de daños prematuros que se manifestaron en la superficie de carpetas de rodamiento asfáltico de rutas del sur de la República Argentina y que pueden calificarse como “no habituales”, en especial para esta región.

De hecho, sendas patologías son, en general, de escasa frecuencia, al punto que suelen no incluirse en los catálogos de deterioros: la aparición de ampollas o “blisters” y el afloramiento de extensas manchas exudadas de ligante contaminado.

En el primer caso, las ampollas constituyen “levantamientos” aislados pero reiterados en el pavimento, que conforman domos o montículos de diámetro variable (hasta unos 25 cm), con fisuras entrelazadas de flexión que comienzan en la parte externa del casquete y que progresan hacia el interior de la capa bituminosa de rodamiento.

La segunda casuística corresponde a cierto tipo de exudaciones de material bituminoso contaminado que surgen como manchas de forma irregular y considerable espesor, con focos localizados de área limitada en los cuales hay pérdida de cohesión en el aglomerado y escurrimientos de mayor expansión en la superficie del camino que se deben al ablandamiento del ligante.

En este trabajo se expone la metodología de estudio empleada para diagnosticar las causas que originaron las irregularidades, ponderar en cada caso las complicaciones que pueden provocarse en términos de seguridad vial y de vida útil del pavimento, establecer un tratamiento o solución de reparación de los sectores afectados y proponer medidas preventivas a fin de evitar la repetición a futuro de los fenómenos observados.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las fallas prematuras que ocasionan la disminución de la comodidad del usuario y la pérdida de la vida útil de un pavimento, pueden deberse a defectos o a deterioros.

Se entiende por “defecto” a una imperfección o irregularidad debida a problemas de construcción, esto es, atribuible a materiales inadecuados y/o técnicas de ejecución indebidas. Por su parte, un “deterioro” está asociado al daño producido por el uso. De todos modos, es lícito argüir que un defecto puede

magnificarse gradualmente a raíz de las sollicitaciones que sufre el pavimento y transformarse así en un deterioro (1).

Las patologías presentadas en este trabajo responden a la categoría de “defecto”, pues sus orígenes se reconocen en los procesos constructivos de elaboración de mezcla asfáltica en planta, en el caso de las exudaciones puntuales de ligante asfáltico contaminado; en tanto que las ampollas o burbujas localizadas corresponden, como se verá más adelante, a prácticas incorrectas durante las etapas de preparación de la superficie y de extendido de la mezcla.

Este documento persigue como objetivo principal la divulgación de estos defectos que, en principio, deberían caracterizarse como “poco recurrentes”, pero cuya aparición podría reiterarse en tanto no se tomen los recaudos de rigor. Complementariamente, se estimó interesante comentar cómo se efectuó el diagnóstico y qué acciones correctivas se implementaron. Finalmente se esboza una propuesta de medidas tecnológicas precautorias, lo cual seguramente constituye el corolario principal de este trabajo teniendo en cuenta que la prevención suele ser una materia pendiente en muchas de nuestras obras viales.

## PRESENTACIÓN DE CASUÍSTICA

### Caso Nº 1: Ampollas o “blisters” en la superficie del pavimento

#### a) Definición y descripción del defecto:

Son hinchamientos localizados de la calzada, en forma de burbujas de tamaño variable, producidas por presión de vapor o aire en zonas de capa de rodadura impermeable o débil en espesor o consistencia. Se manifiesta en una elevación o abombamiento, a modo de casquete de diámetro limitado<sup>(2)</sup>.

Este defecto también es denominado “abultamiento”, es decir, un pequeño desplazamiento hacia arriba localizado, y se diferencia de los desplazamientos en que éstos son causados por pavimentos inestables, por ejemplo por expansión de los suelos de subrasante con presencia de arcillas del tipo expansivo (montmorillonita, illita).

En algunos catálogos de deterioros se indican como otros posibles factores de su aparición, el levantamiento o combadura de una carpeta de concreto asfáltico construida sobre losas de hormigón de cemento Pórtland, la expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo) y la infiltración y elevación de material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado "tenting")<sup>(3)(4)</sup>. Se reporta asimismo una falla de características parecidas pero debido a la presencia de sales solubles que, al cristalizar por evaporación del agua, provocan hinchazones superficiales similares a las citadas anteriormente<sup>(5)</sup>.

Cabe destacar que las ampollas suelen ser fácilmente aplastadas por el tráfico, provocando fisuras y dejando expuestas las capas inferiores, permitiendo la entrada de agua a las mismas. También se han detectado estos inconvenientes en aeropuertos de zonas con nevadas<sup>(6)</sup>. La Figura 1 ilustra de un modo simple los mecanismos que originan el fenómeno y su consecuencia, la burbuja sobre el pavimento.

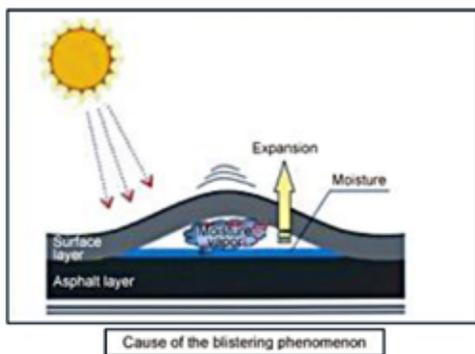


Figura 1. Ilustración del fenómeno de blistering<sup>(6)</sup>

Es de especial interés un artículo que explica el fenómeno de "blistering" acaecido en carreteras de Georgia, EE.UU., producido por la presión de vapor atrapado debajo de la carpeta de rodamiento; aunque también se aclara que podría circunstancialmente deberse a otros factores como presencia de sales solubles e incluso la acción de ciertas bacterias y que, en general, la problemática es compleja<sup>(7)</sup>. Comienza señalando que para comprender y resolver la cuestión debe recabarse toda la información posible acerca de las condiciones imperantes, efectuar un relevamiento in situ y también consultar los archivos e informes disponibles.

Posteriormente, describe las formas típicas de ocurrencia: una capa relativamente delgada e impermeable de concreto asfáltico se coloca sobre un sustrato que contiene cierto grado de humedad y con el cual existe una pobre adherencia; al aumentar la temperatura, el líquido se gasifica y en las áreas no adheridas este gas se expande, generándose una ampolla cuyo tamaño (diámetro y altura) crecerá de acuerdo a las presiones internas generadas y a la resistencia que ofrezca la capa superior. Las razones de la presencia de agua en la interfase

suelen estar relacionadas con riegos de liga efectuados con emulsiones bituminosas con humedad residual al momento de extender la capa superior (producto de una ineficiente rotura), con procesos constructivos realizados en épocas húmedas y frías y con una tipología de mezcla de carpeta fina y densa. Finalmente, se desarrolla un modelo básico del defecto y se discuten sus implicancias. Se describe la existencia de un área circular no adherida entre capas, de radio  $a_0$ ; al expandirse el gas (vapor) por incremento térmico, la presión ejercida empuja hacia arriba la porción no adherida de la capa superior y comienza a generarse la ampolla cuando se vence la rigidez de la capa bituminosa; ver esquema y parámetros en Figura 2.

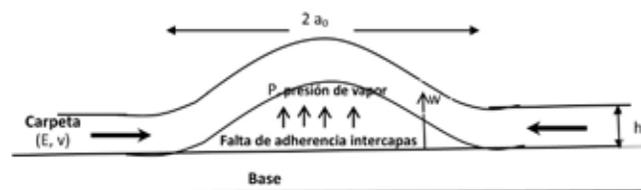


Figura 2. Esquema y parámetros de la situación planteada

La carpeta se encuentra despegada de la base en el área circular de diámetro  $2 a_0$ . Cuando el espesor de la capa superior,  $h$ , es relativamente pequeño comparado a tal diámetro, se produce una deflexión que puede modelizarse de la siguiente forma:

$$w_{max} = (1/64)(P/D) a_0^4 \quad (1)$$

donde:  $D = E h^3 / 12 (1-\nu^2)$  (2)

es la rigidez a flexión de la carpeta, con  $E$  = módulo de elasticidad y  $\nu$  = coeficiente de Poisson de tal capa.  $P$  es la presión de vapor dentro de la burbuja. Las medidas de longitud se expresan en pulgadas y las de presión en libras/pulgadas al cuadrado.

La presión crítica ( $P_{cr}$ ) que causa la ampolla, es:

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{512 E h^3 \gamma_a}{3(1-\nu^2)}} \frac{1}{(2a_0)^2} = K_r / (2a_0)^2 \quad (3)$$

donde  $\gamma_a$  es la energía de rotura de la adhesividad, en lb/pulg<sup>2</sup>

La ecuación (1) indica que la altura de la ampolla es proporcional a la cuarta potencia de su radio. Las ecuaciones (1) y (2) revelan que dicha altura es, además, inversamente proporcional al módulo de elasticidad de la carpeta (lo cual, a su vez, denota la influencia de la temperatura ambiente) y al cubo del espesor de esta capa. En tanto que la ecuación (3) muestra que la presión crítica es inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la deformación, lo que significa que sectores pequeños con falta de adherencia requieren elevadas presiones para que pueda crecer la ampolla.

El estudio se apoya además en otras consideraciones y gráficas que relacionan a las variables puestas en juego.

## b) Presentación y diagnóstico del caso en estudio:

El deterioro que aquí se presenta (“burbujas o ampollas”) apareció en un sector de una ruta en Argentina; Fotografía N° 1. En las Fotografías N° 2 y N° 3, pertenecientes a otra obra, se muestra en detalle una ampolla generada y la fisuración ocasionada posteriormente.

Se realizó una recorrida a la zona en cuestión y se decidió tomar muestras representativas. En primer lugar, se observaron “levantamientos” aislados pero reiterados en el pavimento, conformando unos “casquetes” o montículos convexos de diámetro variable pero limitado (no mayor a 20 cm), principalmente ubicados en el sector de “entre-huella”, es decir, en el tercio central de cada trocha, aunque también se visualizaban fuera de tal franja. No se vieron otras irregularidades asociadas en el pavimento, destacándose que las profundidades de las deformaciones longitudinales (“ahuellamiento”) eran irrelevantes.

Al realizarse el muestreo, que consistió en el aserrado de “placas” o “panes” del pavimento, tanto en sectores donde se manifestaba el deterioro como en aquellos en que no había irregularidades, se apreció que la carpeta de rodamiento ofrecía un buen aspecto y que estaba aparentemente bien compactada, lo cual se corroboró al ensayar los testigos extraídos. Pudo determinarse que los “levantamientos” se debieron exclusivamente a la elevación de la carpeta, que se despegó de la capa inmediatamente inferior hasta varios milímetros, formando los domos o montículos ya mencionados; la capa inferior no mostraba alteraciones, es decir, los montículos correspondían exclusivamente a la carpeta de rodamiento.

Si bien, en principio, tales irregularidades no parecen constituir un riesgo actual en términos de seguridad vial, su evolución significará el deterioro prematuro del pavimento, con sus consecuencias correspondientes.



Fotografía N° 1. Caso N° 1, ampollas en superficie de pavimento asfáltico



Fotografía N° 2. Ampolla formada

Fotografía N° 3. Fisuras superficiales

Por otra parte, se corroboró la existencia de una película bituminosa en la interfase, indicadora de la ejecución de un riego asfáltico de adherencia que indudablemente no ha cumplido correctamente con su función. Por lo observado y no quedando vestigios olfativos en el material de liga que denoten que haya sido un asfalto diluido, se infirió que lo que se utilizó fue una emulsión asfáltica, hecho refrendado por el personal que trabajó en la obra.

En los sectores sin fallas, al aserrar el pavimento y también al extraer testigos se comprobó una buena adherencia entre la capa superior y la subyacente y se ratificó el buen aspecto del material de ambas capas.

Consultando la bibliografía, de la cual se hizo alusión en el apartado a), efectuando una interconsulta con otros profesionales y disponiendo de algunos elementos de información adicional acerca de la climatología y el tránsito en la zona, podría pensarse que las irregularidades se debieron a la convergencia de los factores enunciados en la bibliografía: mala adherencia entre capas; carpeta superior con escaso tenor de vacíos y espesor moderado; presión gaseosa por evaporación del agua residual de un riego de adherencia con emulsión bituminosa que fue esparcido en época fría y húmeda y que aparentemente no terminó de romper antes del extendido de la mezcla de la superficie de rodamiento. Es dable destacar que las temperaturas estivales de la región pueden alcanzar los 30 °C.

Queda por dilucidar la recurrencia de aparición de estas fallas en los tercios medios de las trochas. La información recolectada induce a pensar en el tránsito pesado de la ruta: si bien es de flujo moderado, posiblemente una proporción del mismo circule con exceso de cargas. Las solicitaciones verticales promueven tensiones laterales de compresión que se manifiestan en la zona de la entre-huella (8) (ver Figura 3), con consecuencias magnificadas pues, al no haber adherencia entre capas, la carpeta actúa en forma aislada en vez de hacerlo solidariamente con las capas subyacentes, ofreciendo así un momento resistente mucho menor y ocasionándose deformaciones como las que muestra la figura.

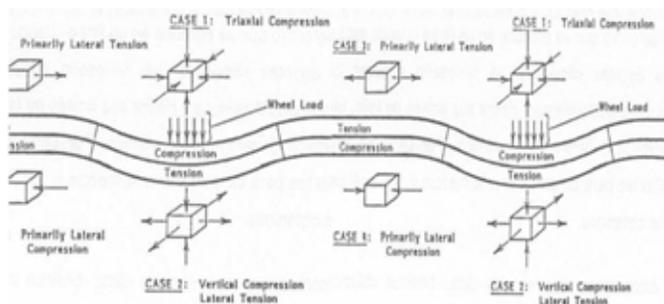


Figura 3. Estado tensional provocado por el paso de un vehículo en pavimento flexible <sup>(8)</sup>

Es posible pensar también en otro causal de este defecto, el cual estaría asimismo asociado a la presencia de agua en la interfase: la existencia de ciclos de congelación y deshielo, teniendo presente que el riego de liga, aún si hubiese sido ejecutado a la temperatura permitida por las especificaciones, pudo haber sufrido tempranamente los efectos del clima predominantemente frío que es habitual en la zona durante buena parte del año.

### c) Medidas correctivas y propuesta de medidas preventivas:

Se consideró que las deficiencias encontradas eran irreversibles y que, por lo tanto, debía reconstruirse la capa superior en los sectores donde se manifestaron las irregularidades, en un ancho que, al menos, abarcara la existencia de tales deterioros. La solución finalmente adoptada fue el fresado en todo el espesor de la calzada y la consiguiente repavimentación de las franjas de pavimento involucradas, respetando las reglas del buen arte relativas a bacheos y reparaciones superficiales y con un control riguroso, previo al tendido de la mezcla, de la extensión y la rotura de la emulsión bituminosa a utilizar como riego de liga con la capa inferior y con los bordes del pavimento cortado.

Las medidas preventivas para evitar nuevas fallas como las presentadas, se relacionan con los causales que las provocaron:

- La superficie receptora del riego de liga debe estar limpia para ayudar a la adherencia intercapas y sin irregularidades que propendan a la formación de charcos de emulsión.
- Debe evitarse el riego bituminoso en jornadas frías y húmedas, y en horas cercanas al atardecer si las temperaturas son bajas.
- El riego debe esparcirse en forma homogénea y con la dotación adecuada.
- Previo a extender la mezcla es necesario corroborar el corte total de la emulsión y también que no se haya depositado suciedad sobre la misma.

### Caso N° 2: Exudaciones puntuales de material bituminoso contaminado

### a) Definición y descripción del defecto:

En los catálogos de deterioros de pavimentos flexibles, se denominan “exudaciones” a las movilizaciones de materiales bituminosos dentro del pavimento, lo que provoca segregaciones y heterogeneidades en su estructura interna que pueden favorecer y ocasionar roturas, deformaciones y otras patologías derivadas <sup>(2)</sup>.

La mayor parte de la bibliografía <sup>(2)(4)(9)</sup> atribuye la presencia de ligante en la superficie de la calzada a una sobredosificación de asfalto en la capa, a excesos de dotación de riego bituminoso o al empleo de ligante de muy baja viscosidad. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la superficie, hecho que se ve favorecido por la acción de un tráfico intenso.

Eventualmente, se cita como causal probable el derrame de solventes <sup>(1)(10)</sup>, pero no se suele aludir a otros tipos de contaminaciones que pueden suceder durante la elaboración de la mezcla en la planta o en los procesos constructivos del pavimento.

### b) Presentación y diagnóstico del caso en estudio:

Se observaron manchones aislados pero amplios de mástico asfáltico (ligante con pequeña proporción de finos) en la superficie, en sectores de pavimento con unos pocos meses de servicio. Los defectos no se dan con una frecuencia homogénea, aunque por trechos parecieran guardar cierta equidistancia. Si bien se encuentran manchas en diversos sectores, aparecen con mayor asiduidad en cercanías del eje de la calzada; teniendo en cuenta que en este tramo se colocó mezcla con una sola terminadora en ancho completo, tales sectores se corresponden con los tercios medios de extendido. Fotografías N° 4 y N° 5.



Fotografía N° 4. Manchas por exudación de mástico asfáltico



Fotografía N° 5. Detalle de sector con exudación

En algunos casos la ubicación de los manchones coincide aproximadamente con paradas de terminadora o incluso con juntas transversales.

Se tomó una muestra de pavimento de dimensiones aproximadas 40x40 cm en un sector con exudación; Fotografía N° 6. El ligante de la mancha se percibía bastante pegajoso al tacto. Se vio además un exceso de material bituminoso en la interfase con la capa inferior. El olor del mástico denotaba vestigios de algún solvente, aunque se supone que el mismo ya estaría mayormente volatilizado.



Fotografía N° 6. Extracción de muestra de pavimento en área exudada

En la mayoría de las áreas afectadas la película bituminosa en la calzada es abundante; se dedujo que la mancha, además, ha escurrido superficialmente en el pavimento por efectos térmicos pues, al extraer testigos en sectores cercanos a los bordes de las manchas, éstos tienen un aspecto normal en todo su espesor excepto en la superficie. La Fotografía N° 5 es un buen ejemplo de lo antedicho.

Complementariamente, se calaron testigos en sectores con manchas y en otros exentos de este deterioro. Sobre las manchas sólo fue posible extraer un testigo de espesor completo, pues las otras muestras extraídas se disgregaron fácilmente; el mismo muestra, además de la capa de mástico en superficie, pérdida de mortero en su parte inferior (Fotografía N° 7, a la izquierda). Los testigos extraídos en sectores exentos de exudaciones ofrecen un aspecto normal (Fotografía N° 7, a la derecha).



Fotografía N° 7. Testigos extraídos: 1 : sector contaminado; 2 : sector "sano"

De las indagaciones verbales se pudo saber que algunos camiones solían emplear gas oil en exceso para lubricar las cajas de los balancines. Durante la estadía para este estudio se vio que se seguía con la práctica de lubricar con tal combustible las cajas de estos camiones, aunque se observó también que en general se utilizaban cantidades moderadas.

También, se averiguó que el material para riegos bituminosos era efectivamente emulsión asfáltica, que en ocasiones se ocasionaban encharcamientos luego de la aspersión y que, eventualmente, podría no haberse tomado los suficientes recaudos para corroborar la adecuada rotura del riego antes de colocar la capa de mezcla asfáltica. Se sabe, además, que por los inconvenientes que tienen los riegos de imprimación para penetrar en los suelos de la región, suele adicionarse hasta un 15% de solvente a las emulsiones provistas aún cuando las mismas fuesen utilizadas para riegos de adherencia.

Se estuvo presente durante la fabricación de mezcla asfáltica en la misma planta elaboradora que proveyó el material para los sectores afectados que son objeto de este estudio. Aprovechando tal circunstancia, se confeccionaron probetas Marshall para ensayo y determinación de parámetros físicos.

La usina es de producción elevada (unas 100 ton/h). Llamaba la atención el aspecto de la pileta de decantación de los finos de desecho, con gran cantidad de restos de hidrocarburos, lo cual podría indicar una mala combustión. Se supo que, en ocasiones y dependiendo del combustible empleado en la planta, el inyector presentaba pequeñas explosiones y la llama se discontinuaba en su caudal, lo cual es probable que contaminase

a la mezcla. Tal situación, en principio, se percibía cuando se utilizaba para tales fines un combustible denominado “hidrocarburo reciclado”. También se informó que se utilizaron otros combustibles para el quemador.

Los camiones de transporte de mezcla mostraban, efectivamente, una caja “lubricada” con gas oil, aunque no se veían encharcamientos en la base.

Se tomaron para análisis muestras de materiales bituminosos, lubricantes y combustibles obtenidos en la planta y en el obrador, con el fin de tratar de detectar el posible contaminante del ligante. El listado es el siguiente:

- Asfalto “virgen”
- Aceite del serpentín del tanque de almacenamiento de asfalto
- Fuel oil empleado en el inyector de la llama del tambor al momento de este relevamiento
- Aceite del motor de la terminadora
- Aceite del sistema hidráulico de la terminadora
- Aditivo mejorador de adherencia
- Emulsión empleada para riego de liga al momento de este relevamiento
- Gas oil empleado para lubricar cajas de camiones de transporte de mezcla

Habida cuenta del reconocimiento visual, de las muestras obtenidas, de lo informado por personal que participa de las obras y de la propia experiencia en obras de pavimentación bituminosa, se plantearon algunas hipótesis para tratar de explicar la problemática encontrada. Se pensó, entonces, en las siguientes causas de contaminación:

- 1.- Vertido de gas oil empleado como lubricante en cajas de balancines de transporte o bien por pérdida del tanque de combustible de alguno de los equipos de obra
- 2.- Vertido de aceites lubricantes de equipos de obra (del motor o del sistema hidráulico)
- 3.- Pérdidas de aceite en el serpentín de calefacción de los tanques de almacenaje de asfalto en la planta
- 3.- Concentración de mejorador de adherencia en la mezcla y/o contaminación del mismo
- 4.- Uso de combustible inadecuado y fallas en la inyección del quemador de la planta asfáltica
- 5.- Exceso y ascensión de riegos bituminosos con algún contenido de solventes

La estrategia seguida consistió en realizar los ensayos de tipo físico-mecánico habituales a las mezclas, el ensayo de punto de inflamación al asfalto original y al contaminado y ensayos de análisis macromolecular al asfalto virgen, al asfalto contaminado y a diversos materiales bituminosos, lubricantes y combustibles, a fin de tratar de dilucidar el origen de la contaminación.

Las probetas Marshall moldeadas en obra indicaban una mezcla típica de concreto asfáltico, con parámetros apropiados para obras en la región.

Los testigos extraídos de la obra en los sectores “sanos” pero próximos a los contaminados poseen un muy bajo tenor de vacíos (~ 1%), comparando su densidad aparente con la densidad máxima Rice de su mezcla, lo cual se condice con el elevado porcentaje de ligante determinado (6,15%), que propende en general al afloramiento o migración de asfalto hacia la superficie y, en caso de contaminaciones, a exudaciones puntuales como las del caso expuesto.

De particular interés resultaron los valores obtenidos en los ensayos de Punto de Inflamación, (P.I.). El asfalto “virgen” tiene un P.I. mayor a 230 °C (el ensayo se interrumpe en esta temperatura pues ya se cumple con las especificaciones). Por el contrario, el asfalto contaminado arroja un P.I. de apenas 110 °C, hecho elocuente que revela la posible presencia de solventes altamente inflamables en el seno del mismo.

Con el objeto de tratar de identificar el contaminante del asfalto original se efectuaron diversos ensayos de Espectrografía Infrarroja (IRS). El equipo utilizado fue un Perkins Elmer (Spectrum One, FTIR Spectrometer), Método ATR (Reflectancia Total Atenuada).

En primera instancia, se ensayaron el asfalto original (“Virgen”) y dos muestras de asfalto contaminado, denominadas “Mod. 1” y “Mod. 2”, pertenecientes al material bituminoso exudado en superficie. Posteriormente se ensayaron algunos fluidos empleados en la obra, siguiendo las primeras hipótesis planteadas; se comenzó con gas oil y con aceite hidráulico de la terminadora (“Aceite 1”). La Figura Nº 4 resume los espectrogramas obtenidos con estos cinco materiales; se tiene que:

- La muestra de asfalto original (“Virgen”) presenta absorban- cia en las longitudes de onda características de este material.
- Las muestras contaminadas (Mod 1 y Mod 2) exhiben marcadamente mayor absorban- cia a valores ligeramente superiores a 1400 cm<sup>-1</sup> y en nuevas longitudes de onda, particularmente en inmediaciones de la absisa correspondiente a 1000 cm<sup>-1</sup> y en proximidades de la longitud de onda de 870 cm<sup>-1</sup>.
- Tanto la muestra de gasoil como la de “Aceite 1” manifiestan absorban- cia en las longitudes de onda características de estos hidrocarburos, pero no coinciden con las marcadas en los asfaltos contaminados. Esto permite aseverar que el aceite hidráulico de la terminadora y el gasoil no son los agentes contaminantes del asfalto original.

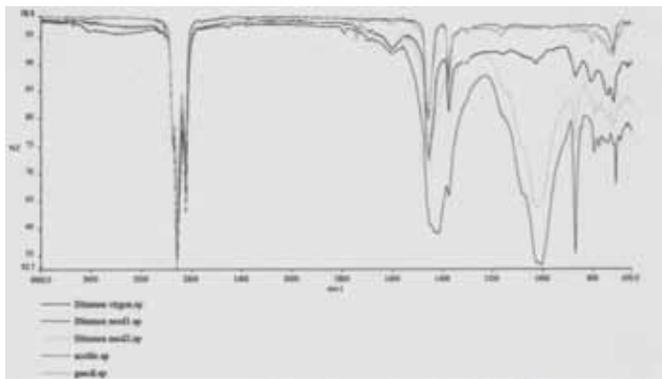


Figura 4. Espectrogramas IR: asfalto “virgen”, asfaltos contaminados, gas oil y aceite “1”

Seguidamente, se ensayaron muestras de la emulsión asfáltica para riego bituminoso, del fuel-oil utilizado en esos momentos como combustible para la llama del quemador, del mejorador de adherencia utilizado en la mezcla para carpeta y de otros aceites (del motor de la terminadora y del serpentín de los tanques de almacenamiento de asfalto). En ninguno de estos casos se manifestaron las características de los asfaltos contaminados. El fuel-oil ensayado es comercial, es decir, no se trata del “hidrocarburo reciclado” mencionado como uno de los combustibles usados en el quemador cuando se elaboraron las mezclas deterioradas, del cual no se contó con muestra alguna para este estudio.

Luego se decidió buscar en archivos de espectrogramas de otros solventes a fin de compararlos con los del asfalto virgen y los contaminados<sup>(11)(12)(13)</sup>. Las muestras de aguarrás mineral, nafta, kerosene y xileno no exhiben absorbancia en las longitudes de onda marcadas en los asfaltos contaminados; por lo tanto, estos solventes no son los agentes contaminantes del ligante. La muestra de tolueno indica, comparativamente con los asfaltos contaminados, sólo una moderada absorbancia en 1000 cm<sup>-1</sup> de longitud de onda; Figura N° 5. La muestra de metanol manifiesta absorbancia en 1400/1500 cm<sup>-1</sup> y también en valores ligeramente superiores a 1000 cm<sup>-1</sup> (similar a los asfaltos contaminados Mod 1 y Mod 2), pero no la exhibe a 870 cm<sup>-1</sup>.

Continuando la revisión bibliográfica, varios autores reportan absorbancia en longitudes de onda próximas a 870 cm<sup>-1</sup> en algunos bencenos mono-sustituídos y en otros hidrocarburos aromáticos, en tanto que en algunos bencenos di-sustituídos aparecen absorbancias bastante marcadas en 870 cm<sup>-1</sup> y en la banda de 1400/1500 cm<sup>-1</sup> y también, aunque tenuemente, en proximidades de la longitud de onda de 1000 cm<sup>-1</sup>. Ver Figura N° 6<sup>(14)</sup>.

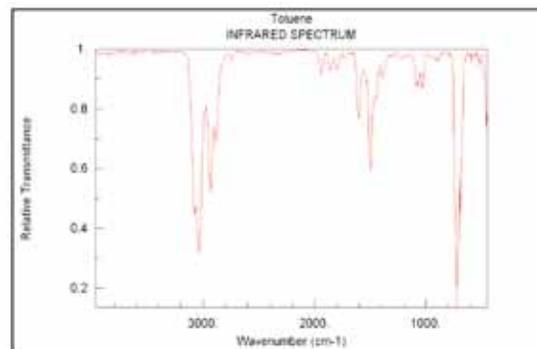


Figura 5. Espectrograma IR de tolueno

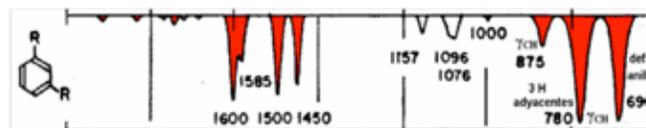


Figura 6. Esquema de espectrograma IR de un benceno di-sustituído<sup>(14)</sup>

En síntesis, de las 5 hipótesis planteadas, las tres primeras (gas oil, aceites y mejorador de adherencia) quedarían refutadas por los ensayos de espectroscopía infrarroja. Los aceites de obra se descartan, además, porque el ensayo de punto de inflamación demostró que el contaminante es un combustible altamente inflamable. Eventualmente podría pensarse en la presencia de algún diluyente en el mejorador de adherencia utilizado en las mezclas contaminadas y, además, una distribución heterogénea de este aditivo en el seno del ligante, como causal de la contaminación, lo cual no pudo refrendarse con las muestras disponibles.

La quinta hipótesis (emulsión asfáltica del riego bituminoso) no se puede demostrar con el material tomado como muestra en la planta. Queda la posibilidad que, donde aparecieron las manchas de asfalto contaminado, se hubiese empleado emulsión con contenido de algún hidrocarburo aromático y no se hubiesen tomado las precauciones de dispersar superficialmente el riego para que no quede encharcado y esperar a su rotura total antes de colocar la mezcla asfáltica.

La cuarta hipótesis es la que mayor fuerza toma, sin haberse podido demostrar fehacientemente al no disponerse de muestras del hidrocarburo reciclado que solía emplearse como combustible del quemador de la llama de la planta. Los espectrogramas IR de los asfaltos contaminados denotan mayor absorbancia que el asfalto virgen en valores ligeramente superiores a 1400 cm<sup>-1</sup> y presentan absorbancia en nuevas longitudes de onda, particularmente en 1000 cm<sup>-1</sup> y aproximadamente en 870 cm<sup>-1</sup>, que no aparecen en el asfalto virgen. Del registro de espectrogramas, se tiene que el tolueno indica moderada absorbancia en 1000 cm<sup>-1</sup>, el metanol la manifiesta en 1400/1500 cm<sup>-1</sup> y en valores ligeramente superiores a 1000 cm<sup>-1</sup> de modo similar a los asfaltos contaminados y, de la bibliografía consultada, se tiene que algunos bencenos mono

y di-sustituidos y otros hidrocarburos aromáticos exhiben cierta absorbancia en las longitudes de onda marcadas en los asfaltos contaminados; algunos de estos compuestos podrían haber estado presentes en el hidrocarburo reciclado u otro combustible eventualmente utilizado para el quemador. Las intermitencias con explosiones que la llama mostrara cuando se empleaba este fluido, según lo averiguado, refuerzan esta posibilidad.

La razón por la cual las manchas se manifiestan mayormente en el tercio central del extendido puede obedecer al hecho que es éste el sector al cual llega la mezcla desde la tolva de la terminadora hacia la cubeta del tornillo sinfín para ser transportada hacia los extremos de la trocha, y que el asfalto contaminado ya diluido tienda a escurrir hacia abajo y no a ser trasladado lateralmente por el sinfín.

#### c) Medidas correctivas y propuesta de medidas preventivas:

Las exudaciones de ligante contaminado aparecidas en el pavimento son defectos irreversibles y por ende sólo queda como solución tratar las zonas afectadas como bacheos superficiales, fresando el espesor de la carpeta y cuidando de remover el material bituminoso sobre la capa de base previo a volver a esparcir riego de liga y extender la mezcla para la rehabilitación.

Las recomendaciones finales, a modo de medidas preventivas a tomar, son las siguientes:

- Utilizar sólo combustible de probada calidad y eficiencia para la llama del quemador del tambor de la planta asfáltica y controlar el funcionamiento general de esta parte de la usina durante los procesos de elaboración de mezclas bituminosas.
- Verificar que el mejorador de adherencia se adicione en proporciones adecuadas; es decir, que el porcentaje a agregar sea el producto de ensayos (por ejemplo, el AASHTO 182 modificado, recomendado por la Comisión Permanente del Asfalto); y que se distribuya en forma homogénea para evitar ocasionales concentraciones en el seno del asfalto
- Practicar las reglas del buen arte en la distribución de los riegos bituminosos, cuidando los detalles para asegurar la homogeneidad y observando que la emulsión haya completado su proceso de rotura antes de efectuar la extensión de mezcla asfáltica.
- Puesto que las mezclas con mayor cantidad de ligante y menor porcentaje de vacíos son las más propensas a sufrir exudaciones, ya sea generalizadas o, como en este caso, localizadas, debería respetarse el porcentaje de ligante que se obtiene racionalmente en la dosificación tal que se cumpla con los parámetros físico-mecánico previstos. Lamentablemente, algunas especificaciones particulares indican un incremento de

contenido de ligante respecto del determinado en la formulación o bien superar algún porcentaje mínimo, y en no pocas ocasiones las mezclas resultan excesivamente ricas en asfalto.

## CONCLUSIONES

Las patologías aquí exhibidas, que constituyen defectos prematuros en pavimentos asfálticos, son ejemplos de irregularidades poco habituales, al punto de no citarse taxativamente en la gran mayoría de los catálogos de deterioros.

En el caso de las ampollas, las causas se reconocen en la falta de control durante las tareas inherentes al riego de liga entre la calzada y la capa de base; específicamente: ejecución en tiempo frío y húmedo, distribución despereja con posibles encharcamientos e incompleta rotura de la emulsión. Además de no efectivizarse adecuadamente la adherencia en la interfase, al aumentar la temperatura el agua atrapada se volatiliza pero, por ser la carpeta de rodamiento impermeable, el vapor no puede escapar y comienza a ejercer una presión que puede vencer la resistencia de la capa superior, provocando deformaciones en forma de casquetes esféricos que derivan en fisuras y disgregaciones del material de la superficie, conformando una falla progresiva.

Las manchas de ligante contaminado del segundo caso expuesto no responden a la tipología usualmente descrita como “exudación” o “sangrado” en los inventarios de fallas de pavimentos bituminosos. Respecto de las causas que las originaron, la hipótesis más admisible para el ejemplo estudiado es el uso de un combustible polucionado para el encendido de la llama del quemador del tambor secador de la planta asfáltica, sumado al hecho de tratarse de una mezcla de carpeta con escaso tenor de vacíos y con elevado contenido de asfalto. Los sucesos reportados en este trabajo constituyen deterioros de características irreversibles, que requieren de una total reparación de las zonas afectadas. Pero pudieron evitarse. De hecho, las medidas preventivas a tomar para impedir la aparición de éstos y otros daños prematuros pueden resumirse en una sencilla recomendación: efectuar un riguroso control de calidad.

Otros corolarios se consideran importantes de enunciar: para casos como los presentados, los ingenieros de obra deben aceptar que la interconsulta profesional y la búsqueda de bibliografía, incluyendo la existente en la red informática, son herramientas tan útiles como los pliegos de especificaciones y los apuntes de las asignaturas con los cuales estudiaron durante su carrera; y, por otra parte, es necesario que se conozca y valore la existencia de nuevas tecnologías de análisis como las utilizadas en el estudio de las exudaciones de ligante contaminado, no tradicionales en la ingeniería vial pero capaces de explicar hechos que serían de improbable esclarecimiento con los ensayos de rutina.

## BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

<sup>(1)</sup> *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamerica. Colección de Documentos, Vol. Nº 11, México, 2002*

<sup>(2)</sup> *Manual de Carreteras. Blazquez, B. y García, B. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., Vol. 1. ISBN 84-607-0267-7, Alicante, España, 2000*

<sup>(3)</sup> *Determinación y evaluación de la incidencia de las patologías del concreto asfáltico en la carretera Catac-Huari, tramo Pomachaca-Huari (km 97+000 al 107+700), Distrito de Huari, Provincia de Huari, Departamento de Áncash. Marquéz, S. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote (Huaraz), Perú 2010*

<sup>(4)</sup> *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Vásquez Varela, L. Ingepav (Ingeniería de Pavimentos), Manizales, Colombia, 2002, <http://www.camineros.com/docs/cam036.pdf>*

<sup>(5)</sup> *Guide to the Prevention and Repair of Salt Damage to Roads and Runways. ISBN 99912 - 0 - 380 - X. July 2001, <http://www.vegvesen.no/attachment/336328/binary/585463>*

<sup>(6)</sup> *Protecting Airport Pavements. Study of and countermeasures against airport pavement blistering in snowy cold regions. Public Works Research Institute 1-6, Minamihara, Tsukuba City, Ibaraki Prefecture, 305-8516, 2008*

<sup>(7)</sup> *Investigation of causes and development of solutions to blistering of asphalt layers. Final report. Lai, J. Georgia Department of Transportation - Office of Materials and Research, 1987*

<sup>(8)</sup> *Short-Loading-Time Stiffness from Creep, Resilient Modulus and Strength Tests Using Superpave Indirect Tension Test. Roque, R., et al. Transportation Research Record No. 1630, pp. 10-20, 1998*

<sup>(9)</sup> *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Coronado, J. Secretaría de Integración Económica Centroamericana(SIECA), Guatemala, 2000*

<sup>(10)</sup> *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Univ. Nac. de Colombia, Bogotá, 2006*

<sup>(11)</sup> *On-line Gaseous Phase Generation - Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry. A New and Powerful Analytical Technique. Gallignani, M.; Valero, M.; Brunetto, M. y Ayala, C. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, v.28 n.1 Maracaibo, Venezuela, 2005*

<sup>(12)</sup> *Detección rápida y no invasiva de methanol en gel a través de espectroscopía RAMAN (TRUSCAN). Boletín de Novedades del JENCK, Buenos Aires, septiembre de 2009, <http://www.google.com.ar/imgres?q=gráfica+s+espectroscopia+IR+metanol>*

<sup>(13)</sup> *NIST Chemistry WebBook, <http://webbook.nist.gov/chemistry>*

<sup>(14)</sup> *Características de los espectros IR de los compuestos orgánicos. Universidad de La Habana, Cuba, Facultad de Química, Departamento de Química-Física, Curso 2007-2008, [http://www.fq.uh.cu/dpto/qf/docencia/pregrado/estruc\\_2/ir/descargas/5\\_ir\\_hidrocarburos.pdf](http://www.fq.uh.cu/dpto/qf/docencia/pregrado/estruc_2/ir/descargas/5_ir_hidrocarburos.pdf)*



EMPRESA PROVEEDORA  
DE SERVICIOS DE INGENIERÍA VIAL



- Estudios y Proyectos
- Inspecciones y Supervisiones
- Estudios de Tránsito y Seguridad Vial
- Higiene y Seguridad
- Factibilidad Técnico-Económica
- Estudios Ambientales
- Cálculo Estructural
- Relevamientos Topográficos
- Estudios Hidráulicos e Hidrológicos



# ASFALTOS A BAJA TEMPERATURA Y MODELOS REOLÓGICOS

## AUTORES:

Horacio Daniel Osio, Jorge Fabián Coacci, Claudio Javier Veloso

## RESUMEN

Ya en trabajos anteriores se habían estudiado algunas variables del comportamiento a bajas temperaturas de ligantes asfálticos. El propósito fundamental de este trabajo fue expresar matemáticamente los resultados obtenidos en ensayos de relajación y de creep empleando el DTT (Direct Tension Tester, equipo de tracción directa). Un primer abordaje del problema, utilizando los modelos de Maxwell y de Voigt-Kelvin, fue insuficiente, toda vez que el comportamiento de los ligantes estudiados (tanto convencionales como con polímeros) se reveló más complejo. La solución, entonces, se enfocó en el análisis del modelo de Zener y de los modelos generalizados de Maxwell y de Kelvin-Voigt. El modelo de Zener no permitió ajustar los valores de la forma más satisfactoria. Con los modelos generalizados de Maxwell –para relajación– y de Kelvin-Voigt –para creep– se obtuvieron buenas aproximaciones, basando con 3 términos.

Para la resolución matemática se apeló al método de Levenberg y Marquardt, haciendo uso de una plantilla elemental en hoja de cálculo electrónica.

Finalmente, cabe señalar que este trabajo no es otra cosa que un paso previo al eventual cálculo de los espectros de relajación y de retardación, problema que exige la utilización de herramientas matemáticas más complejas.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Para el estudio de la reología de los ligantes asfálticos, una alternativa es el análisis de una propiedad macroscópica, como el módulo elástico, por ejemplo.

Para analizar el comportamiento reológico de los ligantes asfálticos en el rango de bajas temperaturas, los equipos SHRP-SUPERPAVE adecuados son el BBR (Bending Beam Rheometer, reómetro de viga a flexión) y el DTT. Éste, en particular, tiene una enorme versatilidad, ofreciendo posibilidades que exceden los ensayos rutinarios.

El estudio de las curvas de relajación y de creep obtenidas con el DTT ofrece un muy útil bagaje de datos para comprender la naturaleza reológica de los asfaltos. Hablar de relajación y de creep es, inevitablemente, hablar de modelos reológicos. Un modelo es, por definición, una simplificación, y, finalmente, una solución de compromiso entre la compleja realidad y un enfoque conceptual a la vez potente y relativamente sencillo. Hablar de lo simple y de lo complejo es hablar, aquí, de viscoelasticidades lineal y no lineal.

En un material visco-elástico lineal general se cumple una relación lineal entre la tensión y sus derivadas y la deformación y sus derivadas:

$$\sigma + A_1 \times \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \dots + A_n \times \frac{\partial^n \sigma}{\partial t^n} = B_0 \times \varepsilon + B_1 \times \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \dots + B_n \times \frac{\partial^n \varepsilon}{\partial t^n} \quad [1]$$

En otras palabras, las funciones características del sistema se suponen soluciones de una ecuación diferencial lineal parcial o total o de un conjunto de dichas ecuaciones. Entonces:

$$\sigma(a \times \varepsilon_1 + b \times \varepsilon_2) = a \times \sigma(\varepsilon_1) + b \times \sigma(\varepsilon_2) \quad [2]$$

La visco-elasticidad lineal tiene un rango de aplicación válido sólo para deformaciones muy pequeñas. Para deformaciones mayores, el módulo de relajación, por ejemplo, deja de ser independiente de la deformación.

Existen diversos modelos para materiales viscoelásticos lineales: podemos mencionar el modelo de Maxwell, el modelo de Kelvin-Voigt y el modelo de sólido visco-elástico lineal estándar que combina los dos modelos anteriores (modelo de Zener), todos ellos haciendo uso de resortes y amortiguadores. La generalización del modelo de Maxwell (consistente en n elementos de Maxwell más un resorte, dispuestos en paralelo) y la generalización del modelo de Kelvin-Voigt (consistente en n elementos de Kelvin-Voigt más un resorte, dispuestos en serie) permiten un mejor ajuste de los valores experimentales.

## 2.- METODOLOGÍA

El programa experimental consistió en la realización de ensayos de relajación y de creep, aprovechando la versatilidad del equipo DTT. Seguidamente, se exploró la factibilidad de ajustes de dichos datos mediante los modelos reológicos ya mencionados.

## 3.- EQUIPOS

Se utilizó básicamente el DTT, complementado, para algunos datos, con el BBR.

Es importante señalar las diferencias entre ambos equipos. El ensayo con el equipo de DTT es un ensayo de tracción; el ensayo de BBR es un ensayo de flexión. En la industria de los polímeros se sabe que las curvas de tensión-deformación están marcadamente influidas por el tipo de ensayo. En general, de los ensayos de tracción, flexión y compresión resultan curvas muy diferentes.

Así, el módulo secante para la rotura en el ensayo con el DTT, si bien es una medida del stiffness, no coincide con el valor obtenido con el ensayo con el BBR. Además, en el ensayo de BBR no se ensaya la viga hasta rotura, como sucede con el DTT.

El DTT, amén de la realización del ensayo rutinario de clasificación, permite alternativas como variar la velocidad de deformación –la rutinaria es de 1 mm/ minuto- y, mediante simples plantillas, realizar ensayos de creep y de relajación de tensiones.

### 3. 1.- SOBRE LA METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS CON EL DTT

Ho y Zanzotto (2000/1) han estudiado exhaustivamente las condiciones de preparación de las probetas para el ensayo con el DTT. Elogiaron el diseño de los moldes, la confiabilidad y amigabilidad del equipo, el diseño y la confiabilidad del software. Prestaron particular atención a una limitada repetibilidad de los resultados y las posibles fuentes de errores, analizando estadísticamente el diseño de las etapas de moldeo.

Las moléculas en el asfalto pueden tener orientaciones aleatorias o más bien uniformes; una orientación uniforme resultará en mayores tensiones de rotura.

¿Qué factores afectan dicha uniformidad?

En el estado líquido, las moléculas se mueven con cierta libertad. El enfriamiento restringe el movimiento de las moléculas. Es, entonces, muy importante permitir que el asfalto, una vez vertido dentro del molde, se mantenga fluido durante un pequeño lapso, enfriando lentamente de modo que las moléculas formen una red uniforme.

¿Qué dificultades se presentan?

La dificultad de alcanzar una temperatura óptima para la cual el asfalto permanecerá fluido por un corto lapso sin derramarse. Para ello, las temperaturas deberían variar según el PG de los asfaltos, con la idea de trabajar con un similar grado de viscosidad.

### 4.- ENSAYO DE RELAJACIÓN

La relajación de tensiones o el cambio en la respuesta de tensiones debido a la aplicación de una deformación constante es uno de los muchos fenómenos visco-elásticos que gobiernan el comportamiento mecánico dependiente del tiempo de los materiales. [ZHAI & SALOMON, (S/F)]

Un aumento de la temperatura reduce los tiempos de relajación (las moléculas poseen una mayor movilidad y necesitan menos tiempo para readaptarse).

Para una primera interpretación de los resultados experimentales, es necesario basarse en algún modelo matemático que relacione las propiedades reológicas con la naturaleza del ligante asfáltico. De todos modos, debemos tener en cuenta que no son las funciones fenomenológicas las que ofrecen una

interpretación termodinámica (a diferencia de los espectros de relajación, por ejemplo, más accesibles a la interpretación molecular).

Tradicionalmente se utilizan modelos mecánicos análogos, desarrollados a partir de resortes y amortiguadores. Empero, y en el caso particular de la mayoría de los asfaltos con polímeros, estos modelos son insuficientes, al apoyarse en elementos del cálculo tradicional (operadores diferenciales y/ o integrales de orden entero).

Entre los modelos reológicos clásicos, se encuentra el modelo de Maxwell, el modelo de Kelvin-Voigt y el modelo de Zener (este último comúnmente se utiliza como una primera aproximación para describir la reología de los polímeros a temperaturas alrededor de la temperatura de transición vítrea, T<sub>g</sub>).

En general, para todos los asfaltos que hemos ensayado a relajación, la función, volcada a un gráfico bi-logarítmico, se presenta idealmente como una recta: la pendiente de dicha recta (el valor A en la ecuación [3]) resume la capacidad de relajación del material.

$$\log\left(\frac{P}{P_0}\right) = -|A| \times \log(t) + B \quad [3]$$

Veamos un ejemplo:

tiempo	carga	Aproximación	tiempo	carga	Aproximación
10	1.01	1.15	491	0.23	0.23
41	0.68	0.65	566	0.22	0.22
116	0.46	0.42	866	0.18	0.19
191	0.37	0.34	1166	0.16	0.16
266	0.31	0.30	1766	0.13	0.14
341	0.28	0.27	2366	0.12	0.12
416	0.26	0.25			

Tabla Nº 1. Datos de un ensayo de relajación

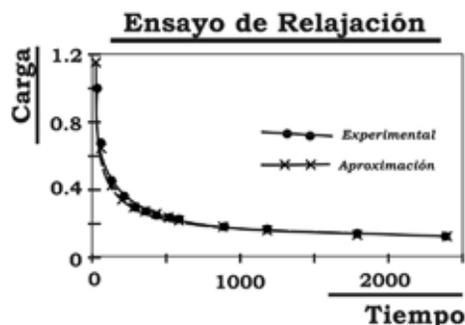


Figura Nº 1

El coeficiente de regresión para los datos es más que aceptable. Empero, esta expresión matemática no se corresponde con ningún modelo reológico convencional. Ahora bien, más allá de estas limitaciones, esta expresión permite analizar en forma expeditiva la capacidad de relajación del material y puede servir para investigar el ámbito de comportamiento lineal.

#### 4.0- MODELO DE MAXWELL

Una virtud del modelo de Maxwell es que admite una representación intuitiva en términos de muelles y disipadores (amortiguadores).



Figura Nº 2. Modelo de Maxwell

Bajo la hipótesis de un comportamiento lineal viscoelástico, la representación matemática del modelo de Maxwell es una ecuación diferencial ordinaria de 1º orden.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_A}{dt} + \frac{d\varepsilon_R}{dt} = \frac{\sigma}{\eta} + \frac{1}{E} \times \frac{d\sigma}{dt} \quad [4]$$

En el caso del modelo de Maxwell, el proceso de relajación se expresa con la fórmula [5]:

$$\sigma = \sigma_0 \times e^{-t \times \frac{E}{\eta}} \quad [5]$$

Como se ve, el modelo de Maxwell anticipa una caída exponencial de la tensión en el transcurso del tiempo. Por otro lado, su predicción del comportamiento de creep no es satisfactoria, ya que el aumento lineal de la deformación con el tiempo –para tensión constante– que resulta de la ecuación constitutiva no coincide con la tasa de deformación decreciente real.

El ensayo de relajación con el DTT no se ajusta al comportamiento del modelo reológico de Maxwell. Ya en 1906, Rankine halló discrepancias entre los valores experimentales de ensayos con geles y la fórmula de Maxwell. Para el caso de especímenes en los que las propiedades elásticas prevalecían sobre las viscosas la fórmula de relajación era:

$$F = F_0 - a \times \log(b \times t + 1) \quad [6]$$

Con a y b constantes; t: el tiempo [HOUWINK, (1940)].

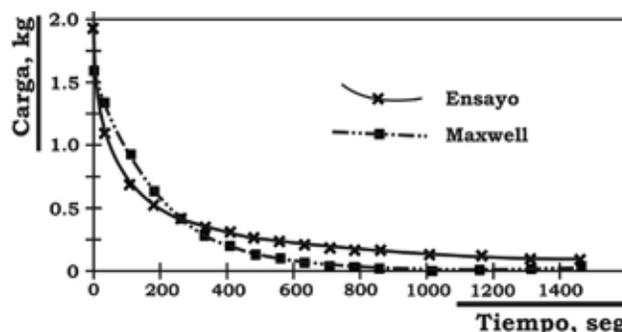


Figura Nº 3. Ensayo de relajación. Valores reales y Maxwell.

#### 4.1- MODELO DE ZENER

Los modelos de Maxwell y Kelvin adolecen de algunas limitaciones. Ambos modelos ignoran la fase inicial de carga, y por lo tanto no son modelos completos. Además, se requieren modelos separados para caracterizar la relajación y el creep. Como alternativa está el modelo Standard de sólido lineal (Zener), y su modificación (de viscosidad linealmente creciente). Por estos motivos, se considera que un modelo que combine características de ambos puede ser un modelo razonable de sólido viscoelástico.

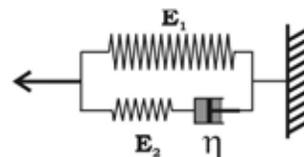


Figura Nº 4. Modelo de Zener

Siendo las deformaciones específicas en ambos elementos (resorte y Modelo de Maxwell) iguales:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E_1} \times \frac{d\sigma_1}{dt} = \frac{1}{E_2} \times \frac{d\sigma_2}{dt} + \frac{\sigma_2}{\eta} \quad [7]$$

Haciendo:

$$\sigma_1 = E_1 \times \varepsilon \quad [8]$$

$$\sigma_2 = \sigma - E_1 \times \varepsilon \quad [9]$$

Tenemos, entonces, la ecuación constitutiva del modelo:

$$\left( \frac{\eta}{E_2} \times \frac{d\sigma}{dt} + \sigma - E_1 \times \varepsilon \right) \times \frac{E_2}{\eta} = (E_1 + E_2) \times \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [10]$$

Para el caso particular de una deformación específica constante  $\varepsilon_0$ :

$$\left( \frac{\eta}{E_2} \times \frac{d\sigma}{dt} + \sigma - E_1 \times \varepsilon_0 \right) = 0 \quad [11]$$

Cuya solución es:

$$\sigma = (+\sigma_0 - E_1 \times \varepsilon_0) \times e^{-t \times \frac{E_2}{\eta}} + E_1 \times \varepsilon_0 \quad [12]$$

#### 4.2- MODELO GENERALIZADO DE MAXWELL

El modelo de Wiechert o Maxwell-Wiechert (también llamado modelo generalizado de Maxwell) es una generalización del modelo visco-elástico estándar (y por tanto también del modelo de Maxwell simple). Este modelo toma en cuenta que la relajación no ocurre según un único patrón, sino según una distribución de escalas de tiempo. Esto sucede al existir segmentos moleculares de diferentes longitudes, contribuyendo los más cortos menos que los más largos, lo que explica la diversidad de escalas de tiempo. El modelo de Wiechert modeliza estos fenómenos mediante tantos conjuntos de resorte-amortiguador como sean necesarios para aproximar la distribución de escalas de tiempo.

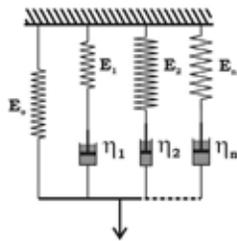


Figura N° 5. Modelo de Wiechert.

Para el caso de un modelo reológico integrado por un elemento elástico y varios modelos de Maxwell la tensión es, para una deformación específica constante  $\epsilon_0$ :

$$\sigma(t) = \epsilon_0 \times [E_0 + \sum_{k=1}^n E_k \times e^{-E_k(t-t_0)/\eta_k}] \quad [13]$$

$$\text{Con: } \sigma_{ok} = E_k \times \epsilon_0 \quad [14]$$

$$\text{Si: } \sigma(t) = E(t) \times \epsilon_0 \quad [15]$$

$$E(t) = E_0 + \sum_{k=1}^n E_k \times e^{-E_k(t-t_0)/\eta_k} \quad [16]$$

$E(t)$  es el módulo de relajación. Si el número de modelos de Maxwell tiende a infinito, los módulos  $E_k$  devienen una función continua  $E(\tau_R)$  de los tiempos de relajación  $\tau_R$  y la suma se convierte en una integral.

$$E(t) = E_0 + \int_0^{\infty} F_M(\tau_R) \times e^{-(t-t_0)/\tau_R} \times d\tau_R \quad [17]$$

$$\text{Con: } F_M(\tau_R) = \frac{dE(\tau_R)}{d\tau_R} \quad [18]$$

Si introducimos la función de relajación:

$$H(\tau_R) = \tau_R \times F_M(\tau_R) = \tau_R \times \frac{dE(\tau_R)}{d\tau_R} \quad [19]$$

Así podemos expresar el módulo de relajación como sigue:

$$E(t) = E_0 + \int_{-\infty}^{\infty} H(\tau_R) \times e^{-(t-t_0)/\tau_R} \times d(\ln \tau_R) \quad [20]$$

El número de elementos Maxwell,  $N$ , tiene un rol crucial para el éxito del método. Si  $N$  es pequeño, el error es de importancia. Con la adición de algunos modos de relajación el error cae rápidamente. Más allá de un valor crítico de  $N$ , el método no mejora sustancialmente y son posibles valores negativos del módulo elástico. [HAGHTALAB y SODEIFIAN, (2002)].

#### 4.3- KOHLRAUSCH-WILLIAMS-WATTS:

Finalmente, y para los polímeros, para cuantificar el comportamiento de relajación en la región terminal, puede utilizarse la ecuación fenomenológica de Kohlrausch-Williams-Watts (KWW):

$$E(t) = E_0 \times \exp[-(t/\tau_{KWW})^n] \quad [21]$$

Los 3 parámetros ( $E_0$ ,  $T_{KWW}$ , un tiempo característico de relajación, y  $n$ ) pueden determinarse a partir de los datos experimentales. Idealmente, sólo deben considerarse datos para largos lapsos con el objeto de evitar los efectos de la transición vítrea en cortos tiempos de ensayo.  $n$  se relaciona con el ancho del espectro de relajación en la región terminal y, así, con la distribución de pesos moleculares.

Si bien la ecuación empírica KWW describe adecuadamente el fenómeno de las curvas de relajación, los parámetros no tienen una interpretación desde el punto de vista molecular.

#### 5.- ENSAYO DE CREEP

En general, es difícil realizar la experimentación a fluencia propiamente dicha, es decir, a tensión constante, debido a los cambios inevitables de sección de las probetas durante el ensayo, por lo que, en su defecto, se suelen realizar ensayos a carga constante. La medición del creep bajo una carga constante puede revelar propiedades reológicas dependientes del tiempo, si bien el enfoque más incisivo es determinar los espectros respectivos. De la medición del creep a lo largo de prolongados lapsos es posible obtener información del material para muy bajas velocidades de aplicación de la tensión de corte.

Si en el caso de los polímeros aceptamos que la deformación plástica o la deformación por creep se debe principalmente a la reorientación de la cadena molecular, debemos aceptar también que ninguna de ellas contribuye al cambio de volumen, por lo que el cambio de volumen en el ensayo de tracción está limitado a un pequeño valor asociado con la deformación elástica. Por ello, es razonable considerar el volumen como constante. Así, puede aplicarse la hipótesis de conservación del volumen [AL-QADI et al, (2008)].

Si queremos determinar la verdadera tensión de tracción:

$$\dot{\epsilon} \times t = \ln\left(\frac{A_0}{A_i}\right) \quad [22]$$

$$e^{\dot{\epsilon} \times t} = \frac{A_0}{A_i} \quad [23]$$

$$A_i = A_0 \times e^{-\dot{\epsilon} \times t} \quad [24]$$

La verdadera tensión de tracción:

$$\sigma = \frac{P}{A_i} = \frac{P \times e^{\dot{\epsilon} \times t}}{A_0} \quad [25]$$

La tabla [2] resume los datos de un ensayo dado.

En lo que hace al ajuste matemático de dichos valores, la fórmula [26] es casi una solución inmediata y, tal como indican la tabla y el gráfico correspondientes, la aproximación es más que aceptable. Sin embargo, esta expresión matemática, que no deja de ser útil, no corresponde a ningún modelo reológico convencional.

$$\log(Y) = A \times \log(X) + B \quad [26]$$

$$\log(Y) = 0.4452 \times \log(X) + 1.4421 \quad [27]$$

tiempo	deformación	Aproximación	tiempo	deformación	Aproximación
9	0.125	0.096	140	0.314	0.326
15	0.133	0.121	150	0.323	0.336
20	0.151	0.137	160	0.332	0.346
30	0.174	0.164	170	0.340	0.355
40	0.193	0.187	180	0.348	0.365
50	0.210	0.206	195	0.360	0.378
60	0.225	0.224	210	0.372	0.391
70	0.238	0.239	225	0.383	0.403
80	0.252	0.254	240	0.393	0.414
90	0.264	0.268	255	0.4036	0.426
100	0.274	0.281	270	0.4139	0.437
110	0.285	0.293	285	0.424	0.447
120	0.295	0.304	300	0.4336	0.458
130	0.305	0.315	330	0.4522	0.478
360	0.470	0.496	1805	1.035	1.018
390	0.488	0.514	1970	1.084	1.058
420	0.504	0.532	2100	1.122	1.089
480	0.537	0.564	2280	1.172	1.129
525	0.560	0.587	2460	1.221	1.168
605	0.598	0.626	2640	1.268	1.205
690	0.637	0.663	2700	1.283	1.217
780	0.676	0.700	2940	1.344	1.264
900	0.726	0.746	3075	1.377	1.290
1020	0.772	0.789	3250	1.418	1.322
1170	0.828	0.839	3430	1.461	1.354
1320	0.882	0.885	3620	1.505	1.387
1515	0.945	0.941	3800	1.546	1.417
1650	0.988	0.978			

Tabla Nº 2. Datos de un ensayo de creep

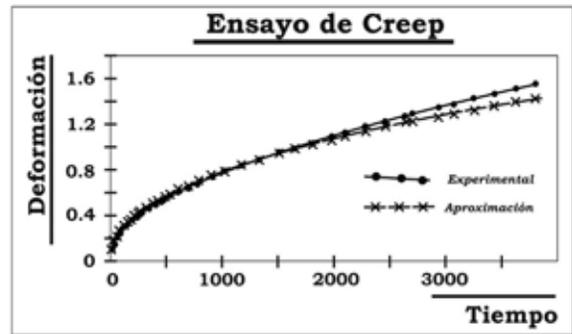


Figura Nº6

### 5.0.- MODELO DE KELVIN-VOIGT

Al igual que el modelo de Maxwell, admite una representación simple en términos de resortes y amortiguadores: el modelo consiste de un amortiguador newtoniano y un resorte que sigue la ley de Hooke, conectados en paralelo. La ecuación constitutiva del modelo puede expresarse como ecuación diferencial de primer orden:

$$\sigma(t) = E \times \epsilon(t) + \eta \times \frac{d\epsilon(t)}{dt} \quad [28]$$

Cuya solución es:

$$\epsilon = e^{-\frac{E}{\eta} \times t} \times \left[ \epsilon_0 + \frac{1}{\eta} \int \sigma \times e^{\frac{E}{\eta} \times t} dt \right] \quad [29]$$

Con  $\epsilon_0$  la deformación inicial para to.

Si aplicamos una tensión constante,  $\sigma$  es constante,  $\epsilon_0$  es cero,  $t_0$  es cero:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E} \times \left( 1 - e^{-t \times \frac{E}{\eta}} \right) \quad [30]$$

Para tensión constante (creep), el modelo es bastante realista y predice deformaciones que tienden al límite  $(\sigma/\epsilon)$  para tiempos prolongados.

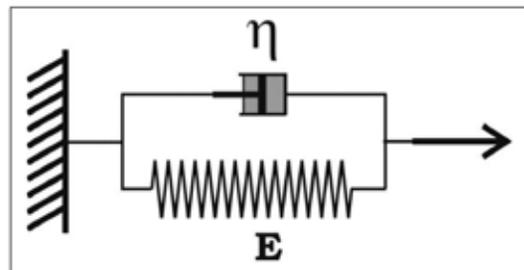


Figura Nº 7. Modelo de Kelvin-Voigt

Este modelo se usa para explicar el comportamiento de "creep" de los polímeros. Aunque, al igual que el modelo de Maxwell, tiene limitaciones empíricas.

### 5.1.- MODELO DE ZENER

Recordemos la ecuación diferencial para el modelo de Zener:

$$\frac{\eta}{E_2} \times \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = E_1 \times \varepsilon + \eta \times \left(1 + \frac{E_1}{E_2}\right) \times \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [31]$$

La solución de esta ecuación para el caso particular de una tensión constante  $\sigma_0$ :

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} \times \left[1 - e^{-\frac{E_1 \times E_2 \times (t-t_0)}{(E_1+E_2) \times \eta}}\right] + \varepsilon_0 \times e^{-\frac{E_1 \times E_2 \times (t-t_0)}{(E_1+E_2) \times \eta}} \quad [32]$$

### 5.2- MODELO DE KELVIN GENERALIZADO

Para el caso de un modelo reológico integrado por un elemento elástico y varios modelos de Voigt-Kelvin, la deformación específica para una tensión constante  $\sigma_0$ :

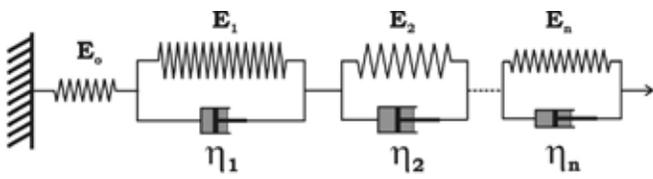


Figura N° 8. Modelo de Kelvin-Voigt generalizado

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \times \left\{ \frac{1}{E_0} + \sum_{k=1}^n \frac{1}{E_k} \times \left[1 - e^{-E_k(t-t_0)/\eta_k}\right] \right\} \quad [33]$$

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \times \left\{ J_0 + \sum_{k=1}^n J_k \times \left[1 - e^{-(t-t_0)/\tau_{Rk}}\right] \right\} \quad [34]$$

$J_0$  es el módulo de relajación;  $\tau_{Rk}$  es el tiempo de retardación para el elemento número k.

La ecuación [34] representa una serie de exponenciales de decrecimiento. El resorte responde instantáneamente, los demás modelos reaccionan en forma diferida. Los tiempos de retardación usualmente se utilizan para proveer una indicación del lapso necesario para que un cierto componente del material (por ejemplo, un polímero) responda a la carga de creep impuesta. El número de términos en la serie no debería exceder las décadas logarítmicas cubiertas por el ensayo (si son 1000 segundos, no más de 3 términos).

Si el número de modelos de Kelvin tiende a infinito, tendremos:

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[ J_0 + \int_0^{\infty} F_K(\tau_R) \times \left(1 - e^{-(t-t_0)/\tau_R}\right) \times d\tau_R \right] \quad [35]$$

Con:  $F_K(\tau_R) = \frac{dJ(\tau_R)}{d\tau_R} \quad [36]$

Siendo  $J(\tau_R)$  una función continua del tiempo de retardación. Si introducimos la siguiente función, llamada el espectro de retardación:

$$R(\tau_R) = \tau_R \times F_K(\tau_R) = \tau_R \times \frac{dJ(\tau_R)}{d\tau_R} \quad [37]$$

Entonces:

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left[ J_0 + \int_0^{\infty} R(\tau_R) \times \left(1 - e^{-(t-t_0)/\tau_R}\right) \times d(\ln \tau_R) \right] \quad [38]$$

De donde obtenemos la compliancia de retardación:

$$J(t) = J_0 + \int_0^{\infty} R(\tau_R) \times \left(1 - e^{-(t-t_0)/\tau_R}\right) \times d(\ln \tau_R) \quad [39]$$

## 6.- MATERIALES

Se estudiaron 4 ligantes asfálticos convencionales y 2 asfaltos con polímeros. Previamente, fueron sometidos a los ensayos de RTFO y de PAV (normativa SHRP-SUPERPAVE).

## 7.- DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

### 7.1.- ENSAYO DE RELAJACIÓN

Está claro que a partir de los estudios de viscosidad de sistemas poliméricos [Ree y Eyring; Powell y Eyring] que las curvas de relajación no son uniformes, sino están compuestas por diferentes modos [HAHN et al (1960)]. En el caso de los materiales poliméricos, la complejidad estructural explica la presencia de fenómenos de relajación asociados a diferentes tipos de movimientos moleculares. Esto implica una difícil descripción de sus propiedades reológicas [GARCÍA CAVAZOS et al, (2007)].

tiempo	carga	tiempo	carga	tiempo	carga
0	1,929	409,29	0,306	859,29	0,165
34,29	1,09	484,29	0,267	1009,3	0,141
109,29	0,698	559,29	0,235	1159,3	0,118
184,29	0,525	634,29	0,212	1309,3	0,102
259,29	0,424	709,29	0,196	1459,3	0,094
334,29	0,353	784,29	0,18		

Tabla N° 3. Datos de un ensayo de relajación

La Fig. No 9 grafica los datos (Tabla No 3) de la curva experimental y las 2 aproximaciones, con 1 y 2 elementos de Maxwell (que ofrece un mejor ajuste).

Dos elementos de Maxwell:  $P = 1.3 \times e^{-0.015 \times t} + 0.8 \times e^{-0.0025 \times t} \quad [40]$

Un elemento de Maxwell:  $P = 1.593 \times e^{-0.00497 \times t} \quad [41]$

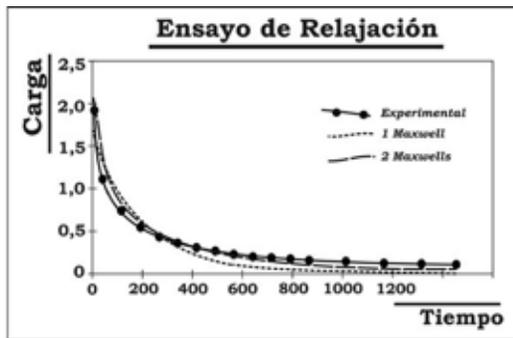


Figura Nº 9

La Figura Nº 10 presenta los datos de la curva experimental y las tres curvas componentes de lo que es un modelo de Maxwell generalizado de 3 elementos. Vemos que cada elemento aporta un tiempo de relajación bien definido.

Maxwell 1:  $P = 0.8149 \times e^{-0.0513 \times t}$  [42]

Maxwell 2:  $P = 0.7245 \times e^{-0.00682 \times t}$  [43]

Maxwell 3:  $P = 0.3896 \times e^{-0.00101 \times t}$  [44]

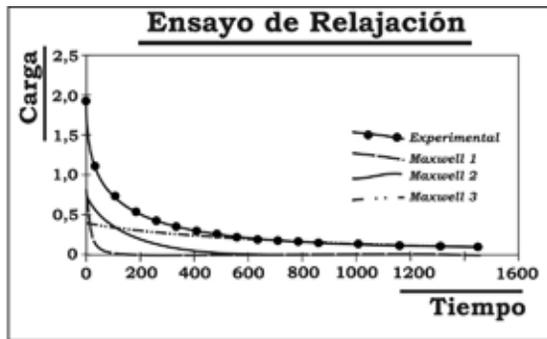


Figura Nº 10

tiempo	deformación	tiempo	def.	tiempo	def.	tiempo	def.
9	0,1250	140	0,3137	360	0,4702	1805	1,0350
15	0,1328	150	0,3229	390	0,4876	1970	1,0840
20	0,1507	160	0,3317	420	0,5040	2100	1,1220
30	0,1740	170	0,3398	480	0,5367	2280	1,1720
40	0,1929	180	0,3477	525	0,5595	2460	1,2210
50	0,2097	195	0,3597	605	0,5984	2640	1,2680
60	0,2247	210	0,3716	690	0,6371	2700	1,2830
70	0,2385	225	0,3828	780	0,6763	2940	1,3440
80	0,2516	240	0,3934	900	0,7256	3075	1,3770
90	0,2644	255	0,4036	1020	0,7721	3250	1,4180
100	0,2743	270	0,4139	1170	0,8276	3430	1,4610
110	0,2850	285	0,4240	1320	0,8816	3620	1,5050
120	0,2950	300	0,4336	1515	0,9446	3800	1,5460
130	0,3046	330	0,4522	1650	0,9880		

Tabla Nº 4. Datos de un ensayo de creep

La Fig. Nº 11 resume los datos (Tabla Nº 4) de la curva experimental y las 2 aproximaciones, con uno y dos elementos de Kelvin-Voigt, sistema que ofrece un mejor ajuste.

Dos elementos:  $Def = 1.5813 \times (1 - e^{-0.0004124 \times t}) + 0.234 \times (1 - e^{-0.03527 \times t})$  [45]

Un elemento:  $Def = 1.37892 \times (1 - e^{-0.001020 \times t})$  [46]

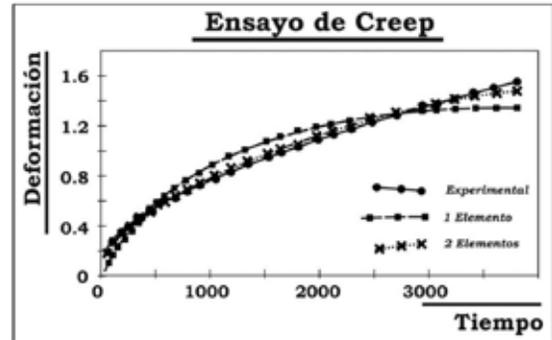


Figura Nº 11

La Figura Nº 12 presenta los datos (Tabla No 5) de la curva experimental y las tres curvas componentes de lo que es el modelo de Kelvin-Voigt generalizado de 3 elementos. Cada elemento aporta un tiempo de retardación bien definido.

tiempo	deformación	tiempo	def.	tiempo	def.	tiempo	def.
11	0,1467	140	0,2825	360	0,3765	1515	0,6039
20	0,1624	150	0,2879	390	0,3863	1650	0,6214
25	0,1749	160	0,2936	420	0,3956	1805	0,6408
30	0,1831	170	0,2992	450	0,4045	1980	0,6613
40	0,1973	180	0,3042	480	0,4126	2160	0,6810
50	0,2094	195	0,3115	540	0,4290	2340	0,6998
60	0,2205	210	0,3187	600	0,4436	2525	0,7178
70	0,2300	225	0,3252	690	0,4645	2720	0,7365
80	0,2396	240	0,3315	780	0,4834	2910	0,7535
90	0,2481	255	0,3379	910	0,5093	3075	0,7678
100	0,2551	270	0,3441	1020	0,5289	3240	0,7817
110	0,2624	285	0,3500	1140	0,5487	3420	0,7965
120	0,2695	300	0,3555	1260	0,5675	3600	0,8106
130	0,2764	330	0,3664	1380	0,5854	3780	0,8240

Tabla Nº 5. Datos de un ensayo de creep

Kelvin-Voigt 1:  $Def = 0.23222 \times (1 - e^{-0.04691 \times t})$  [47]

Kelvin-Voigt 2:  $Def = 0.45907 \times (1 - e^{-0.0007778 \times t})$  [48]

Kelvin-Voigt 3:  $Def = 0.23400 \times (1 - e^{-0.000224 \times t})$  [49]

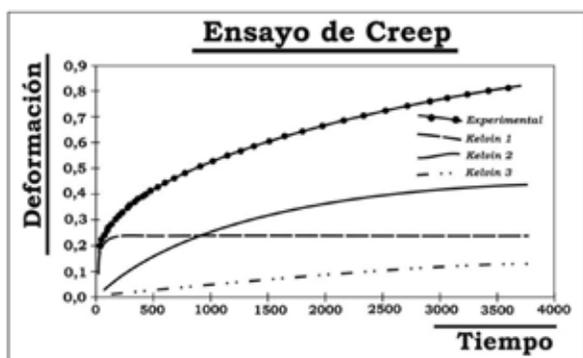


Figura Nº 12

## 8.- CONCLUSIONES

Con una adecuada elección del modelo reológico, puede extraerse el mayor provecho de los datos de los ensayos de relajación y de creep. En ese sentido, y para los asfaltos ensayados, los modelos generalizados de Maxwell (para relajación) y de Kelvin-Voigt (para creep) han sido útiles, y el correspondiente ajuste más que aceptable ya para 3 elementos. Estos sistemas de resortes y amortiguadores de comportamiento lineal son intuitivos y de fácil comprensión.

La tarea matemática es relativamente simple: basta con las ecuaciones del método de Levenberg y Marquardt volcadas a una plantilla, que se copia, con las modificaciones del caso, en cada iteración.

Los modelos no lineales y los enfoques con herramientas matemáticas de más complejas (diferenciales fraccionarios) permiten sí un abordaje más integral, a la vez que más laborioso. Dichos modelos justifican otra línea de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO MP1 (1998) "Standard specification for performance-graded asphalt binder"; AASHTO, Washington DC.

AASHTO TP1 (1999) "Standard specification for determining the flexural creep stiffness of asphalt binder using the bending beam rheometer (BBR)"; AASHTO, Washington DC.

AL-QADI, Imad L.; YANG, Shih-Hsien; MASSON, Jean-Francois; MC GHEE, Kevin K. (2008) "Characterization of Low Temperature Mechanical Properties of Crack Sealants Utilizing Direct Tension Test". Research Report ICT-08-028, Illinois Center for Transportation, Noviembre 2008

ANDERSON, D. ; MARASTEAUNU, M. ; CHAMPION-LAPALU, L. ; LE HIR YANN, M. D. ; PLANCHE, J-P. (2000) "Low temperature thermal cracking of asphalt binders as ranked by strength and fracture properties". Euroasphalt & Eurobitumen 2000.

DUMONT, A.-G.; OULD-HENIA, M. "Long term effect of modified binder on cracking resistance of pavements". [infoscience.epfl.ch/record/125864/files/Article\_Ver %201.doc]

GARCÍA CAVAZOS, Felipe R.; REYES MELO, Martín E.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Virgilio A.; GUERRERO SALAZAR, Carlos A.; GARCÍA LOERA, Antonio. (2007) "Aplicación del cálculo fraccional a la reología de materiales poli-

méricos". Ingenierías, Abril-Junio 2007, Vol. X, No. 35

HAGHTALAB, Ali; SODEIFIAN, Golamhossein. (2002) "Determination of the discrete relaxation spectrum for polybutadiene and polystyrene by a non-linear regression method". IRANIAN POLYMER JOURNAL/ VOLUME 1/ NUMBER 2 (2002) 107-113 [página 110]

HAHN, Sang Joon; REE, Taikye; EYRING, Henry. (1960) "Non-Newtonian relaxation in amorphous solids" (En "Non-crystalline solids", V. D. Fréchet, Editor. John Wiley & Sons. New York).

HANSEN, Oteen Laugesen; RAY, Peter Martin; KARLSSON, Anders Ola; JORGENSEN, Bodil; BORKHARDT, Bernhard; PETERSEN, Bent Larsen; ULVSKOV, Meter. (2001) "Mechanical properties of plan cell walls probed by relaxation spectra". Plant Physiology, enero 2011, vol. 155, pp. 246-258, www.plantphysiol.org

HO, Susana; KLESKEN, Beverly; ZANZOTTO, Ludo. (2003). "Direct Tension Tests – a Useful Tool to Study the Low Temperature Properties of Wax – Containing Asphalt". TRB, 82nd Annual Meeting Paper No. 03 - 3157

HO, Susanna; ZANZOTTO, Ludo. (2000) "The Impact of Sample Preparation on Direct Tension Test of Asphalt Binders". The 1st International Symposium on Binder Rheology and Pavement Performance". August 13-15, 2000 [1]

HO; Susanna; ZANZOTTO, Ludo. (2001/1) "Simple preparation for direct tension testing. Improving determination of asphalt binder failure stress and test repeatability". TRR Nº 1766, 2001, 15-23

HO; Susanna; ZANZOTTO, Ludo. (2001/2) "Establishment of Testing Procedure for the determination of low temperature properties of asphalt binder technology". Vol 1 Nº1 April 2001. pp. 34-38]

HO, Susanna; ZANZOTTO, Ludo (2005). "The low temperature properties of conventional and modified asphalt binders evaluated by the failure energy and secant modulus from direct tension tests". Materials and Structures 38 (January-February 2005) 137-143 [www.rilem.net]

HOUWINK, R. (1940). "Elasticity, Plasticity and Structure of Matter". Cambridge University Press, Cambridge.

MONSIA, Marc Dolphin. (2011). "A Simplified Nonlinear Generalized Maxwell Model for Predicting the Time Dependent Behaviour of Viscoelastic Materials". World Journal of Mechanics, 2011, 1, 158-167. (<http://www.SciRP.org/journal/wjm>)

SCOTT BLAIR, G. W. (1949) "A Survey of General and Applied Rheology". Sir Isaac Pitman & Sons, Londres.

SOBOTKA, Zdenek. (1984) "Rheology of Materials and Engineering Structures". Academia, Praga.

[ZHAI, Huachun; SALOMON, Delmar. (S/F) "Evaluation of Low Temperature Properties of Crack Asphalt Sealants Using the Direct Tension Tester".

<http://www.technopave.com/publications/Evaluation-of-Cracksealants-with-DTT-Thermal-Stress-defined.pdf>



## YPF junto a la construcción.

YPF, líder en la comercialización de asfaltos e insumos energéticos para la construcción, acompaña todas las etapas de la misma y asegura un servicio personalizado que se adapta a las necesidades de cada cliente. Beneficios únicos de una empresa que garantiza la mejor calidad en sus productos, una distribución y logística especializadas, la seguridad de un abastecimiento que llega a todo el país y cuenta con servicios técnicos móviles.

YPF. Solución integral para la industria de la construcción.

**YPF**

NUESTRA ENERGÍA

# LOS CAMINOS AUTOEXPLICATIVOS (CAE) FUNCIONALES, COHERENTES, COORDINADOS, FLEXIBLES, SENSIBLES AL CONTEXTO, INDULGENTES, MÁS SEGUROS Y ECONÓMICOS

## AUTORES:

María Graciela Berardo, Francisco Justo Sierra, Alejandra Débora Fissore, Luis Raúl Outes

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos 50 años la teoría y práctica del diseño geométrico vial vienen enriqueciendo el concepto de seguridad vial basado en el equilibrio dinámico de un vehículo circulando a la velocidad directriz. Crecientemente en la mayoría de los países se tiende a diseñar caminos más seguros, teniendo más en cuenta el factor humano: aptitudes, carencias y expectativas del conductor. Se demostró la mayor eficacia de ajustar el diseño geométrico según los hallazgos de la **Ingeniería de Seguridad Vial**, ISV, en relación con el factor humano, que modificar el comportamiento y aptitudes congénitas del conductor. La educación sigue siendo un componente esencial para mejorar la seguridad vial, lo mismo que los adelantos tecnológicos de los **vehículos**, y el **control** con la fuerza pública del acatamiento de leyes y reglamentos de conducción.

En las guías, normas y recomendaciones de los organismos viales de Europa, los EUA, Canadá y Australia se incorporan conceptos novedosos y eficientes, algunos de los cuales significan una evolución radical en estrategias para seguir mejorando los resultados de la ISV, y otros son remozadas versiones de los conceptos enunciados por el visionario ingeniero argentino Pascual Palazzo, al final de los años 30:

Todavía algunos técnicos piensan que las víctimas del tránsito pagan su propia imprudencia, o son conductores temerarios; es posible que así sea, pero eso nada cambia. Imprudencia, desatención, temeridad, etc., las hubo y las habrá, porque no **puede pretenderse cambiar la naturaleza humana**. 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 o peatones prudentes, atentos, inteligentes, de rápida reacción, sino **para los hombres tal cual son** o tal cual llegan a ser en las diversas circunstancias de la vida diaria.

En los pasados 20 años, las Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial basadas en guías inglesas y australianas vinculan la seguridad y los factores humanos, y algunos países desarrollados aplican recomendaciones y guías específicas para dar más cabida a los **conductores ancianos**, un grupo de creciente importancia.

Con la gran responsabilidad de diseñar la seguridad vial, los proyectistas viales deben comprender profundamente las implicaciones de seguridad de sus decisiones de diseño. Lamentablemente, este tipo de conocimiento está limitado entre los proyectistas debido a falta de formación profesional adecuada

sobre seguridad y cuestiones del factor humano, insuficiencias de los programas de cursos universitarios de grado, y demora de los organismos viales en aplicar las técnicas probadamente exitosas, en particular las relativas a **coherencia de diseño y zona despejada**.

Con normas de diseño geométrico 45 años antiguas y vigentes, en la vialidad argentina hay una necesidad urgente de ayudar a los ingenieros proyectistas viales a familiarizarlos con los factores actuales de seguridad y humanos de reciente desarrollo y aplicación internacional exitosa. Una forma de satisfacerla es integrar eficazmente la seguridad y los factores humanos en las normas de diseño geométrico vial.

El objetivo de este trabajo técnico es comparar los conceptos modernos de ISV compendiados en los **caminos autoexplicativos**, con las Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial de la Actualización 2010, A10.

Establecidas las coincidencias y desencuentros, se formularán recomendaciones para eventuales ajustes futuros. En el texto se indica la referencia con la sección o subsección correspondiente a DNV A10; por ejemplo [A10 1.1.1] remite a Cap.1, Sec.1, Subsec.1.

## 2. SEGURIDAD Y FACTOR HUMANO EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL<sup>19</sup>

### 2.1. ENFOQUES MODERNOS DE LA INGENIERÍA DE SEGURIDAD VIAL

En varios países, el **Sistema Seguro** es un enfoque según el cual los problemas de seguridad vial se tratan considerando la interacción de varios componentes del sistema de transporte, en lugar de aplicar contramedidas individuales relativamente aisladas; tal sistema supone desarrollar altos niveles de coordinación local e internacional. Con tal enfoque, entre los proyectistas y los usuarios se tratan las actitudes prevalecientes y las influencias culturales sobre el comportamiento de seguridad, se relaciona a la seguridad vial con amplias cuestiones de transporte y sociales. La Seguridad se maximiza cuando todos los esfuerzos están coordinados, y los sistemas de seguridad se centran en el usuario. Sobre una base nacional, el Sistema Seguro establece un difícil pero alcanzable objetivo concreto de reducir los accidentes mediante un programa de contramedidas.

La **Visión Cero** sueca es un enfoque similar al de Sistema Seguro, basado en el punto de vista ético de cero muertes y lesiones graves en accidentes viales. En esencia, cambia la responsabilidad atribuyéndosela a todos los niveles de toma de decisiones, planificación, proyecto, construcción, mantenimiento, y usuarios.

El elemento más radical de *Visión Cero* es que el estado sueco no permite que la vida y salud se negocien en el largo plazo contra beneficios del sistema de transporte vial (tal como una creciente capacidad y movilidad).

La **Visión de Seguridad Sostenible** de Los Países Bajos también constituye un estado-del-arte del enfoque Sistema Seguro, cuyo objetivo es evitar los choques y, donde no fuere posible, minimizar la probabilidad de lesiones graves, lo cual se pretende lograr mediante un enfoque proactivo orientado al *factor humano*, que reconozca la vulnerabilidades físicas de las personas, junto con sus capacidades y deseados cursos de acción. Se espera que el camino y los vehículos satisfagan estos requerimientos humanos. Además, el *sistema educativo* debe preparar y probar a los individuos con respecto a su comportamiento de conducción. Así, la seguridad vial se vuelve menos dependiente de las decisiones individuales de los usuarios del camino y la responsabilidad no cae solamente sobre los usuarios, sino también sobre el camino, vehículos y sistema de educación.

Basado en los fundamentos de *Visión Cero* y **Avanzar en Seguridad Sostenible**, también Austroads adoptó formalmente el enfoque de Sistema Seguro, y forma un componente clave de la estrategia de seguridad vial nacional australiana.

También es probable que *Nueva Zelanda* adopte esta visión. En los EUA, varios departamentos estatales de transporte, particularmente, Utah, Washington y Minnesota ya comenzaron a aplicar el enfoque de Visión Cero.

Aparte del *Sistema Seguro*, otra área de investigación reciente sobre la seguridad vial es la de los **factores humanos**. La necesidad de un enfoque centrado en el usuario y comportamiento hizo hincapié en investigaciones recientes, específicamente en cuanto a diseño y operación vial.

Un hito para un diseño vial seguro centrado en el usuario son las **Guías de Factores Humanos para Sistemas Viales**<sup>20</sup>, destinadas a dar la mejor información factual y conocimientos sobre las características de los usuarios y facilitar las decisiones viales de seguridad y operacionales. Informan que las referencias existentes aplicables al diseño del sistema vial no proporcionan a los proyectistas e ingenieros viales la orientación adecuada para incorporar las necesidades, limitaciones y capacidades de los usuarios cuando tratan temas de diseño y operacionales. Además, las interpretaciones erróneas, reacciones lentas y malas decisiones son los productos de un

pobre ajuste entre las necesidades y capacidades de los conductores y las demandas de la tarea que enfrentan en el camino. Un enfoque de diseño y operación más centrado en el conductor fomentará mejoras continuas en la seguridad vial.

El **Manual de Seguridad Vial (AASHTO HSM 2010)** proporciona a los ingenieros viales resultados validados de investigaciones, probados procedimientos para integrar la seguridad en proyectos nuevos y de mejoramiento, y herramientas analíticas mejoradas para predecir y medir el éxito de las contramedidas de seguridad aplicadas. Al diseñar un camino y sus operaciones, debe ponerse énfasis en que no podrá alcanzarse la seguridad sustantiva simplemente sobre la base de predicciones de un modelo de accidentes, sin considerar las limitaciones y capacidades de los usuarios.

En los países más desarrollados se espera un **incremento sustancial del número y proporción de ancianos en el total de la población**, lo cual definitivamente afectará la seguridad vial del futuro. El proceso de envejecimiento normal conduce a un deterioro funcional en visión, memoria, fuerza física y flexibilidad necesarias para una conducción segura, con gran variabilidad en las aptitudes de conducción. Considerando que sólo una pequeña porción de **conductores ancianos** será considerablemente deficiente para conducir vehículos, se desarrollaron pautas específicas y recomendaciones.<sup>13</sup>

## 2.2. DESARROLLOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO CENTRADOS EN EL USUARIO

### Europa

En el 2008, la *Comisión Europea* emitió una directiva<sup>10</sup> que exige el establecimiento y aplicación de los procedimientos relativos a la evaluación de impacto de seguridad vial, auditorías de seguridad vial, gestión de seguridad de la red vial y la inspección de seguridad por parte de los estados miembros.

Se aplicará a caminos que forman parte de la red transeuropea, en las etapas de diseño, construcción y operación. Desde una perspectiva del usuario, los principios de seguridad y análisis de operaciones ya se aplicaron con éxito en las auditorías de seguridad vial.

Las pruebas para evaluar la seguridad vial se iniciaron en el 2002 en Suecia, Inglaterra y Holanda, y recientemente se desarrollaron diferentes programas de evaluación de la seguridad vial: EuroRAP, AusRAP, USRAP, PIARC, etc. El objetivo es clasificar los tramos de camino según su nivel de seguridad, y asignar la *calificación de estrellas*, similar al programa EuroNCAP para probar la resistencia al choque de los vehículos.

### Canadá<sup>18</sup>

La guía de diseño canadiense incluye un resumen de la evolución del enfoque de diseño geométrico vial con énfasis en la seguridad. Se introduce el concepto de dominio de diseño [A10 1.2.6]1, el rango de valores que puede tomar un parámetro

de diseño, para reemplazar el anterior concepto de las *normas de diseño*, término cuyo uso se abandona porque no se intenta establecer normas. La intención del nuevo concepto *dominio de diseño* es dar a los proyectistas mayores oportunidades para ejercer su crítico juicio ingenieril.

Para ayudar a los proyectistas aplicar el concepto de dominio de diseño se establecen cuatro niveles de orientación:

1. Orientación numérica de los límites superior e inferior,
2. Descripción de las características principales del dominio del diseño y a menudo provisión de métodos heurísticos de carácter cualitativo, según la experiencia pasada y razonamientos para promover la aplicación de soluciones comprensibles y adecuadas a los problemas de diseño,
3. Donde haya, provisión de datos de velocidades de operación para evaluar cuantitativamente el rendimiento de seguridad,
4. Ejemplos relevantes.

En la introducción de la guía se citan dos observaciones críticas, claramente emanadas de la obra de Ezra Hauer:

Las dimensiones de diseño que no cumplen las normas, no necesariamente resultan en un diseño inaceptable - y las dimensiones que cumplen las normas no garantizan un diseño aceptable. La noción de camino 'seguro' (o libre de choques) es un mito. El diseño geométrico vial es un proceso que puede resultar en caminos 'más o menos seguros'.

En la Guía canadiense se compiló y presentó el conocimiento factual sobre la relación entre seguridad y características visibles básicas del camino. Sin embargo, se advierte que muchos aspectos de este campo de investigación están en sus comienzos. Se incluye una breve sección de **factores humanos sobre las expectativas y reacciones del conductor**, y las respuestas a un diseño adecuado. En la sección sobre distancia visual se analiza la **distancia visual de decisión**.

Se presta especial atención a la **coherencia de diseño**, [A10 3.14]<sup>1</sup> específicamente la coherencia transversal, de velocidad y de la carga de trabajo mental del conductor. La guía indica que el objetivo principal de los *proyectistas canadienses debe ser alcanzar la coherencia de diseño de cada clasificación de camino, en cada tipo de topografía, independientemente de su ubicación*. Sin embargo, carece de referencias específicas a la conducta humana y comportamiento de los conductores, especialmente mayores.

#### Australia<sup>8</sup>

La Guía australiana de diseño de geométrico vial es una de las ocho guías interrelacionados que conforman la guía de *Austroroads*. Se ocupa principalmente de los alineamientos horizontal y vertical, junto con sección transversal de la calzada. La nueva filosofía de la guía de diseño geométrico australiano es similar a la Guía canadiense. Un desarrollo notable en la guía

australiana es la aprobación explícita del enfoque Sistema Seguro para el diseño geométrico; sin embargo, la sección pertinente es breve y más bien aislada de las demás secciones; el enfoque de sistema seguro no se aborda específicamente en las diversas secciones de características de diseño geométrico. Se observa que los cuatro elementos clave para un *Sistema Seguro son: (comportamientos del usuario + velocidades + caminos + vehículos) más seguros*.

También se incluyen los valores máximos de velocidad, por encima de los cuales disminuyen las posibilidades de sobrevivir a un accidente. Se discuten cuestiones de seguridad y variaciones del comportamiento humano ante diferentes grados de coordinación planialtimétrica.

#### EUA (AASHTO)

El *Libro Verde de AASHTO trata el Comportamiento del Conductor y la Seguridad*, con referencias descriptivas sobre los conductores ancianos, la tarea de conducir, sistema de información y manejo de la información, errores de los conductores, velocidad, diseño, y evaluación de diseño. Una consideración importante sobre el factor humano es la provisión de la **distancia visual de decisión** [A10 3.2.4]<sup>1</sup>, en situaciones donde los conductores deben tomar decisiones complejas o instantáneas ante una situación compleja difícil de percibir, o cuando sean necesarias inesperadas o inusuales maniobras.

La sección sobre Seguridad incluye varias recomendaciones *cualitativas* sobre cómo evitar accidentes a través del mejor diseño de diversas características y elementos del camino. Sin embargo, no existen instrucciones *cuantitativas* para alcanzar un equilibrio entre la prevista velocidad de operación del 85<sup>o</sup> percentil y la velocidad directriz en caminos rurales de dos carriles.

La coherencia de diseño se reconoce como uno más de los controles generales del alineamiento horizontal, pero se lo describe *cualitativamente*. Sin embargo, en los EUA se desarrollaron varios métodos para evaluar la coherencia de velocidad; por ejemplo, el *módulo Coherencia de diseño del Interactive Highway Safety Design Model de la FHWA* [A10 3.14.3]<sup>1</sup>, de concepción similar a otros desarrollados en Canadá, Alemania y Australia.

Un requisito indispensable se refiere a la necesidad de *evaluar el diseño* en términos de suministro de información, con énfasis en el comportamiento de los conductores no familiarizados, ante la calidad visual del camino.

#### Alemania<sup>9</sup>

En esencia, las guías alemanas para autopistas adoptaron el principio de *predictibilidad* de la trayectoria del camino de *Seguridad Sustentable*, y del comportamiento del usuario ante la vista de un diseño reconocible del camino que tenga en cuenta las expectativas de los usuarios mediante la coherencia y continuidad del diseño; es decir, **caminos autoexplicativos**.

### 3. LOS CAMINOS AUTOEXPLICATIVOS

*Los caminos autoexplicativos (CAE, SER Self Explaining Roads) provocan un comportamiento seguro de los conductores, simplemente porque el adecuado diseño de sus características visibles es coherente con sus expectativas.*

El concepto CAE relaciona el comportamiento del factor humano con el diseño de las características visibles del factor camino, según el principio de predictibilidad, que ayuda a los usuarios a reconocer fácilmente las distintas categorías de caminos, saber qué tipo de otros usuarios pueden encontrar y saber instintivamente cómo comportarse (por ejemplo, a qué velocidad circular, si puede haber intersecciones con otras vías, a nivel o diferente nivel, o si a los ciclistas se les permite circular por el camino, etc.). Si el diseño vial sigue el concepto CAE, los usuarios serán capaces de reconocer el tipo de camino, su comportamiento será más predecible y será menos probable que cometan errores. Así se intenta evitar que se produzcan accidentes (prevenir), y no buscar soluciones después de ocurrido el accidente (corregir). El concepto CAE se basa en que los caminos con funciones diferentes (dirección, distribución o acceso) tengan un diseño característico fácilmente reconocible.

Elementos como la señalización vertical y horizontal, ancho de carriles o iluminación artificial son diferentes según el tipo de camino, y tienen la función de dejar un sello característico en él.

Los requisitos para el reconocimiento de los caminos y su predictibilidad son:

- Evitar la incertidumbre en el comportamiento del conductor mediante un diseño definido y preciso, y una señalización inequívoca.
- Hacer reconocibles las diferentes categorías de caminos.
- Limitar el número de elementos de diseño de cada categoría, y uniformarlos.

La limitación del número de categorías de caminos ayuda a su rápido reconocimiento; es más fácil reconocer una categoría de camino si en el sistema sólo hay pocas, que no muchas.

Para relacionar y armonizar el diseño de las características visibles del camino y su entorno, con el previsible comportamiento de los conductores, el concepto CAE compendia conceptos y prácticas de diseño y construcción vial desarrollados desde mediados del siglo 20:

#### Clasificación funcional [A10 2.8]<sup>1</sup>

Los caminos dentro de una red vial pueden ser clasificados desde distintos puntos de vista. La clasificación funcional valora el carácter del servicio que proveen las calles y caminos; es una importante herramienta para planificar el transporte. El surgimiento de la funcionalidad como método de clasificación es coherente con las normas de diseño geométrico. La mayoría de los viajes viales comprenden movimientos a través de las redes de caminos y pueden categorizarse en forma lógica y eficiente. La clasificación funcional de caminos y calles es también coherente con la categorización de viajes.

Al clasificar funcionalmente las redes de caminos, las dos principales consideraciones son movilidad y accesibilidad. El conflicto entre servir al movimiento directo y dar acceso a un disperso patrón de orígenes y destinos de viajes requiere diferenciar y graduar los tipos funcionales.

Según este esquema, los caminos se pueden clasificar por su función dentro de la red en:

- a) Troncales o primarios. Pueden ser rutas nacionales o provinciales y unen polos o ciudades importantes. Deben asegurar el tránsito en forma permanente, pues a través de ellos se desarrolla el mayor porcentaje de tránsito de larga distancia. Hacia éstos convergen los caminos secundarios.
- b) Arteriales o secundarios. Vinculan localidades de menor importancia, soportan un tránsito menor que los anteriores. Funcionan como alternativas de los troncales y sirven de en-lace entre éstos.
- c) Colectoras o Terciarios. Cuentan con un tránsito reducido y/o localizado. Son caminos de poca importancia y satisfacen las necesidades de reducidos núcleos poblacionales o centros aislados de producción, con poblaciones de mayor importancia, las que a su vez están interconectadas con los caminos secundarios.
- d) Vecinales o Locales. Aseguran el acceso a las propiedades rurales. Generalmente son de carácter precario y proveen un servicio pobre; se complementan con los caminos privados.



En los caminos de tipo primario prevalecen las altas velocidades, ya que el objeto es movilizarse entre puntos extremos de una red en el menor tiempo posible; a medida que baja la jerarquía de la vía también disminuyen las velocidades, para posibilitar el acceso a las propiedades o a las resistencias propias de un tránsito de tipo local.

La respuesta funcional se relaciona con las exigencias de la comunicación movilidad y accesibilidad, conceptos contrapuestos si se los mide en términos de velocidad o están además estrictamente relacionados con las resistencias que deben soportar.

### Coordinación planialtimétrica [A10 3.12]<sup>1</sup>

Para realzar los aspectos de seguridad, funcionalidad, comodidad del conductor y apariencia estética de un camino se requiere resolver adecuadamente la coordinación de los elementos que componen el proyecto en planta y perfil. Aunque se resuelvan en operaciones diferentes, los alineamientos horizontal y vertical no deben diseñarse en forma independiente.

El término genérico **coordinación planialtimétrica** trata sobre los conceptos a considerar para que el ensamble espacial satisfaga las expectativas de los conductores.

Los elementos individuales que componen el proyecto en planta y perfil de un camino deben estar cuidadosamente dimensionados e interrelacionados para obtener un alineamiento tridimensional que proporcione al conductor un recorrido fácil y agradable, exento de sorpresas y desorientaciones, aumentando la utilidad y seguridad, alentando la velocidad uniforme y mejorando la apariencia, casi siempre sin costo adicional.

La interrelación poco cuidadosa de los elementos horizontales y verticales tiene consecuencias en la apariencia estética de la calzada y en su relación con el paisaje circundante, lo que influye sensiblemente en la **seguridad de la circulación**, y en la comodidad y ánimo del conductor.

En general, la bibliografía técnica y los reglamentos de diseño internacionales identifican una larga serie de combinaciones de alineamiento horizontal y rasante que deben evitarse para no desmejorar la seguridad, funcionalidad y apariencia estética de un camino.



Falta de Coordinación Planialtimétrica

Fuente: DNV A101

La apariencia del camino determina el comportamiento del conductor. Por ello, las recomendaciones que se formulan para que el conductor tenga en todo momento una clara percepción de las trayectorias a seguir, y se sienta relajado al ver la calzada y su entorno, deben considerarse junto con las que se postulan por razones de seguridad.

### Coherencia del diseño [A10 3.14]<sup>1, 2, 3</sup>

Condición bajo la cual la geometría de una vía se encuentra en armonía con las expectativas de los conductores, y con sus aptitudes para guiar y controlar un vehículo.

Las características de la vía determinan lo que es físicamente posible para un vehículo, pero también tiene influencia la apreciación del conductor sobre lo que considera una velocidad apropiada. Las percepciones individuales de una velocidad apropiada están influidas por una serie de factores de la vía, muchos de ellos no contemplados en algunas normativas, tales como los costados del camino, número de intersecciones y accesos a propiedad, uniformidad entre los distintos elementos del diseño, etc. Estos factores influyen en la determinación de las velocidades a las que los usuarios desean conducir en cada tramo, no siempre compatibles con el diseño.

Las incoherencias quedan definidas por las diferencias entre lo que proporciona el diseño y lo deseado por el conjunto conductor/vehículo. Numerosos estudios mostraron que existe correlación entre la probabilidad de ocurrencia de accidentes y un diseño incoherente.

Un diseño incoherente se compone de una combinación de características geométricas que al requerir una alta carga de trabajo del conductor resulta en conducción insegura, maniobras inadecuadas y altos niveles de accidentes. Las incoherencias surgen cuando el carácter general del alineamiento cambia entre segmentos del camino, de modo que entre una característica y la siguiente se observan inaceptables cambios en la velocidad.

La selección del método más adecuado para cuantificar la coherencia del diseño fue objeto de numerosas líneas de investigación. A pesar de haberse explorado muchas técnicas basadas en diferentes teorías, el método más común de medir la coherencia se basa en la velocidad de operación; velocidad que mejor refleja las expectativas de los conductores. Su uso requiere la habilidad de predecir las velocidades en función de diferentes elementos de la geometría del camino sobre la base de registros antecedentes, en caminos similares.

Desde hace muchos años, la *Federal Highway Administration de los EUA*, consciente de la necesidad de considerar la seguridad dentro del proceso de diseño, investiga técnicas para complementar los procedimientos basados en la velocidad directriz con métodos y herramientas que permitan evaluar cuantitativamente las implicaciones sobre la seguridad de las decisiones de diseño geométrico. Para ello desarrolló un programa de investigación que culminó con el *Interactive Highway Safety Design Model*, (Modelo Interactivo para Diseño Seguro de Caminos). Es un modelo para evaluar la seguridad y operación de caminos rurales de dos carriles indivisos, existentes o proyectadas, que permite predecir la funcionalidad de la vía, ayudando a calificar el proyecto, a través de cinco módulos.

El Módulo Coherencia de Diseño chequea la coherencia del diseño en relación con las expectativas de velocidad y trayectoria de los conductores a través de un perfil de velocidades que combina: velocidades deseadas en tramos rectos, velocidades de operación del 85º percentil estimadas en curvas

horizontales y verticales, tasas de aceleración y desaceleración al entrar y salir de las curvas, y velocidades en pendientes. Las incoherencias quedan definidas a través de dos medidas de coherencia del diseño; coherencia de elementos simples, referida a la diferencia entre velocidad directriz y velocidad de operación; y coherencia de elementos sucesivos, basada en la diferencia de velocidad de operación entre curvas sucesivas y en elementos aislados del trazado.

Al avanzar en la solución de las incoherencias se obtiene un diseño más armónico, lo que redundará en una disminución en la ocurrencia de accidentes.

### **Costados de calzada despejados e indulgentes [A10 3.9]<sup>1</sup>**

En la década de 1960 se reconoció que aun los conductores más capacitados podían desplazarse fuera de la calzada. Por muchas razones o combinaciones de ellas, los conductores continuarán desplazándose fuera del camino; ya sea por error del conductor (excesiva velocidad, sueño, imprudencia, inexperiencia, conducción desatenta, conducción bajo la influencia del alcohol o drogas, o voluntariamente para evitar un choque con otro vehículo, con personas, animales, u objetos sobre la calzada), por condiciones del camino (alineamiento deficiente, escasa visibilidad por condiciones climáticas y de entorno adversas (lluvia, helada, nieve, niebla, humo), escasa fricción del pavimento, baches, ahuellamiento, drenaje inadecuado, o señalización, marcación o delineación inadecuada), o por fallas de los componentes del vehículo (en los sistemas de dirección y frenos, problema de neumáticos, inestabilidad de carga en camiones, etc.)

La probabilidad de accidente de vehículo-solo por salida accidental desde la calzada se minimiza si se reducen los peligros en los costados del camino: áreas laterales a la calzada; por el exterior de la calzada, desde el borde de calzada hasta el límite de la zona de camino, e interiormente hasta el otro borde de calzada.

Ya que las salidas accidentales desde la calzada son inevitables, los costados del camino deben ser tan **despejados e indulgentes** como razonablemente sea posible, para dar a los conductores de los vehículos errantes la oportunidad de recuperar el control, detenerse con seguridad, o reducir la gravedad de los accidentes cuando resulten inevitables.

El concepto de costados del camino indulgentes incluye una adecuada **zona de recuperación o zona despejada**: área adyacente a la calzada relativamente plana, suave, de superficie firme, sin peligros, que permita recuperar el control de un vehículo errante sin ocasionar un vuelco o choque contra ningún objeto fijo peligroso.

Soportes franqueables, tratamiento de extremos y transiciones de barreras, remoción de obstáculos innecesarios, liberación de zona despejada, aplanamiento de taludes, cunetas traspasables, redondeo de aristas, etc. complementan este concepto.



RP2 km 64 Samborombón, 25.6.12. Cuatro muertos en accidente por salida de vehículo solo desde la calzada, vuelco y choque contra los soportes de un cartel publicitario, ubicado en lo que debiera ser zona despejada. [www.larazon.com.ar/ciudad/Accidente-fatal-ruta\\_0\\_362700154.html](http://www.larazon.com.ar/ciudad/Accidente-fatal-ruta_0_362700154.html)

### **Diseño vial sensible al contexto, y flexible [A10 1.2]<sup>1</sup>**

El diseño sensible al contexto es una metodología generada a fines del siglo 20 para llevar adelante los proyectos de inversión del transporte en su concepción más amplia, incorporando factores tales como la *preservación y puesta en valor del medio ambiente y la calidad de la habitabilidad de las urbes*.

El diseño sensible al contexto es un enfoque colaborativo e interdisciplinario en el cual los ciudadanos son parte del equipo de diseño y compromete a todos los intereses relacionados con el desarrollo de una estructura vial, ajustada a aspectos físicos predeterminados. Preserva el paisaje, estética, hitos históricos y recursos naturales y **mantiene la seguridad y movilidad del camino**.

Un diseño sensible al contexto tiene en cuenta las necesidades de la comunidad y la sensibilidad de la zona a una cierta estructura propuesta. Refleja la necesidad de considerar a los proyectos viales como algo más que solo transporte. El resultado final de este enfoque debe ser una mejor comprensión de los vínculos entre la sociedad, el entorno natural y el uso sostenible de los recursos.

**Los términos diseño sensible al contexto y flexibilidad en el diseño vial se usan intercambiamente. Suelen expresarse como pensar más allá del pavimento.** Todos estos términos se refieren al mismo proceso y resultado: un proyecto vial o de transporte que refleja el consenso de una comunidad respecto de propósito y necesidad, con las características del proyecto desarrolladas para producir una solución global que equilibre seguridad, movilidad, preservación escénica, estética, histórica y recursos ambientales.

La **flexibilidad en el diseño vial** fue estudiada y aplicada por la *Federal Highway Administration* en enfoques de diseño, usos de criterios, ejecución de soluciones de diseño e incorporación o características *únicas*. En su publicación, la FHWA alienta a los proyectistas viales a expandir su consideración al aplicar los criterios de las normas, mostrar un proceso abierto que incluya el compromiso público y sostenido del pensamiento creativo, componentes esenciales para alcanzar un buen diseño.

En 1998, una conferencia nacional patrocinada por la Administración Vial del Estado de Maryland y la FHWA dio una definición de diseño sensible al contexto adoptada por muchos:

*El diseño sensible al contexto pregunta primero sobre la necesidad y propósito del proyecto de transporte, y luego considera igualmente seguridad, movilidad, y la preservación escénica, estética, histórica, ambiental y otros valores comunitarios.*

El diseño sensible al contexto o flexibilidad en el diseño vial representan un proceso amplio que intenta juntar a todos los interesados en un positivo y proactivo ambiente, para concluir proyectos que satisfagan las necesidades de transporte y se vean como realces de la comunidad mediante la preservación de esfuerzos sensible a los valores locales.

#### **Apaciguamiento del tránsito [A10 8.9.4]<sup>1, 4, 5</sup>**

El apaciguamiento del tránsito comprende un conjunto de medidas y acciones para reducir o atenuar el volumen y velocidad de los vehículos para que la circulación en **zonas urbanas o pasos urbanos** sea más segura y compatible con las actividades desarrolladas en el entorno de la vía sobre las que se aplican (residenciales, comerciales, escolares, establecimientos sanitarios).

Es muy eficiente para mejorar la calidad de vida al reducir el número y gravedad de los accidentes, mejorar las condiciones del entorno y facilitar el uso seguro de los espacios públicos. Puede colaborar a restablecer la jerarquía adecuada de las calles.

Según el generador de la necesidad de medidas de apaciguamiento de tránsito, estas acciones pueden clasificarse en: *reactivas*, cuando responden a pedidos de los ciudadanos, o *proactivas*, cuando se originan en un equipo identificador de problemas.

Existen numerosos tipos de atenuadores, pero en general pueden agruparse en dos: cambios verticales en el perfil longitudinal de la calzada para provocar incomodidades en los conductores (saltos, sacudones o ruidos, como las lomadas, badenes, resaltos y tablas), cambios horizontales que induzcan cambios de trayectoria (rotondas, minirrotondas, chicanas, canalizaciones forzadas, estrechamientos de la calzada), o limitaciones del tránsito en una zona (clausuras parciales o totales de calles, sentido de calles).

*...el empleo irracional de ciertos medios técnicos destinados a neutralizar o minimizar los riesgos viales puede, en definitiva, aumentarlos, agravarlos o constituirse ellos mismos en causa independiente de incidente; .....En otras palabras, la irracionalidad puede ser contraproducente, al multiplicar el riesgo que, opuestamente, se trata de neutralizar. Los reductores de velocidad coactivos; Carlos Tabasso Cammi.*



Su uso indiscriminado e injustificado puede ser contraproducente.

## **4. EXPERIENCIA INTERNACIONAL DE LOS CAMINOS AUTOEXPLICATIVOS**

### **4.1. PAÍSES BAJOS<sup>6, 11, 12, 16</sup>**

El concepto de *caminos autoexplicativos* está incluido en la visión de **Seguridad Sostenible** desarrollada por Holanda en la década de los noventa.

Esta idea nace para desarrollar un sistema de caminos más seguros. Según este concepto, no se puede crear una sociedad en la que se tolere que el transporte carretero resulte inevitablemente en miles de muertos y heridos cada año.

El punto de partida de esta filosofía es reducir considerablemente la probabilidad de los accidentes de tránsito mediante el mejoramiento del diseño de los caminos. Además, donde los accidentes se sucedan, minimizar su gravedad.

El concepto de seguridad se basa en el principio el **hombre es la referencia estándar**. Es decir, el factor humano y sus errores siempre estarán presentes y el sistema de transporte tiene que adaptarse a esta realidad, para que la gente conviva en seguridad (Fred Wegman, 1995). Según este concepto, para que un sistema de tránsito sea seguro y sostenible se deben cumplir tres principios:

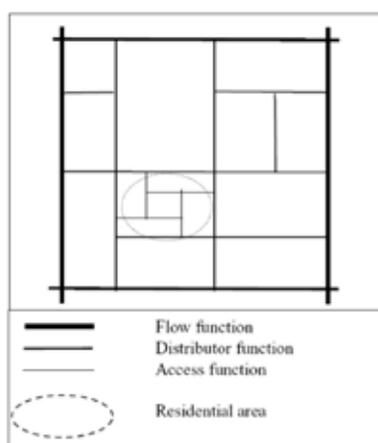
- Un camino adaptado a las limitaciones de las capacidades humanas mediante un diseño apropiado.
- Vehículos equipados con dispositivos contruados para simplificar las labores del conductor y para protegerlo tanto como sea posible.
- Conductores y usuarios del camino bien informados, educados, y controlados.

Según **Sustainable Road Safety** cada categoría de camino requiere un diseño compatible con su función, al mismo tiempo que tiene que proveer una seguridad óptima.

Esta filosofía motivó la recategorización de los caminos holandeses. Uno de los principios de esta visión se basa en que los caminos deben ser *reconocibles* y para ello es esencial que la red de caminos conste de categorías coherentes, ya que al reconocer y distinguir fácilmente las distintas categorías de caminos, el comportamiento del usuario será acorde al esperado por el proyectista del camino.

La recategorización redujo a solo 3 la cantidad de categorías de caminos de la red vial. Así se definieron los caminos de movilidad, de distribución y de acceso.

En la **Figura 1** se muestra un esquema de esta división de funciones dentro de la red de caminos.



**Figura 1.** Categorización de una red de caminos  
Fuente: Sustainable Safety

Los caminos de movilidad pertenecen al grupo de las autopistas, autovías y caminos nacionales. Se caracterizan porque sus movimientos son rápidos e ininterrumpidos. Debido a la alta velocidad de circulación, el acceso a estas vías debe estar restringido, las curvas horizontales y verticales deben tener radios generosos, los postes de las señales laterales deben ser frangibles, el canchero central tiene que estar presente en todo el tramo de camino, etc. Si se dan estas características, los caminos arteriales suelen ser los más seguros.

Los caminos distribuidores unen los caminos de movilidad con los de acceso a las zonas urbanas. Se trata de caminos regionales que captan tránsito de las áreas residenciales y lo distribuyen hacia las autopistas y autovías. Por su función, estos caminos suelen conectar vías rápidas con lentas y viceversa. Para que sean seguros, deben favorecer que el conductor baje la velocidad del vehículo a tiempo. En esta categoría de caminos ocurre la mayor cantidad de accidentes, por lo que sus elementos visibles deben diseñarse cuidadosamente.

Los caminos de acceso conectan a los vehículos con su destino final: zonas residenciales, comerciales etc. Deben tener límites de velocidad máxima de 60 km/h y características tales que agilicen y apacigüen el tránsito que soportan.

El concepto de Seguridad Sostenible define explícitamente la función, diseño y uso del camino en el Manual de Diseño Vial de Holanda (CROW). Su puesta en práctica requiere mucho esfuerzo, tiempo y dinero, por lo que se la planteó en forma gradual, para lo cual se desarrollaron lineamientos sobre las **Características Esenciales de Reconocimiento (EHK)** que establecen las propiedades mínimas de los caminos **reconocibles**. Se intentó asegurar la presencia de este concepto desde el principio del largo proceso que demanda recategorizar y re-diseñar la red vial.

Conforme al concepto de *Seguridad Sostenible*, en la **Figura 2** se muestran las características de reconocimiento de los caminos de la red holandesa.

Recognition Characteristics	Flow-road	Distributor road	Access road
Speed limit	120 km/h	100 km/h	80 km/h
Road sign	 (ASW, G01)	 (AW, G03)	 (A01(80) / E10)
Road side/edge marking	unbroken	unbroken	broken
Separation of driving directions	wide median or barrier	double axis marking with 'green' filling, or median	double axis marking (without filling), or median
			

**Figura 2.** Características Esenciales de Reconocimiento de los caminos de la red holandesa (Fuente: RIBAST WP3 RIPCORDER)

Según estas pautas, el límite de velocidad, las señales, la demarcación central y de borde de calzada y la separación de sentidos son las características esenciales para que el camino sea reconocible. Estas características fueron elegidas para cada categoría, de modo tal que sean tan únicas como sea posible y fácil de lograr. Sin embargo, a raíz de la necesidad de aplicar la Seguridad Sostenible gradualmente, en una primera etapa se eligieron sólo dos características primordiales para que los caminos sean reconocibles: la separación de sentidos y la demarcación del borde de calzada. Por ejemplo, la línea de borde continua y la doble línea central con relleno verde son características esenciales para los caminos de movilidad de 100 km/h, y la separación física y línea de borde continua lo son para las autopistas.

Si bien la recategorización de la red de caminos comenzó hace varios años, aún hay caminos que no cumplen los requisitos de la Seguridad Sostenible. Un estudio de Weijermars & Doumen (2009) investigó la medida en que la red de caminos holandeses se categorizó de acuerdo con el Manual de Diseño y Seguridad Vial, y en qué medida se diseñaron según los lineamientos del EHK. Se concluyó que alrededor del 90% de las municipalidades holandesas recategorizaron su red de caminos; el 62% de ellas de acuerdo con el Manual.

El estudio reveló que el 75% de los caminos rurales de acceso (60 km/h) y cerca del 40% de los caminos distribuidores rurales responden a los lineamientos del EHK. En general, las autoridades se mostraron más renuentes a aplicar las pautas en zonas urbanas que en rurales, ya que frecuentemente las primeras resultan poco factibles por cuestiones de espacio o económicas.

Por la aplicación gradual de los conceptos de *Seguridad Sostenible* aparecieron los caminos grises, no totalmente rediseñados o no aptos para asignar a una sola categoría, según lo estipula el concepto de *Seguridad Sostenible*.

Principalmente en áreas urbanas, algunos caminos con importante intensidad de tránsito cumplen simultáneamente la doble función de acceso y movilidad. Esto resulta en que no puedan categorizarse como *camino de acceso ni como camino de movilidad*. Por ello se los llamó *caminos grises*, porque no es posible asignarles características distintivas, lo cual afecta negativamente al concepto de que sean reconocibles.

Se están estudiando estos caminos de doble función para encontrar la manera de canalizar el tránsito de paso por un desvío, o canalizar el tránsito local en caminos de acceso antes de conectarlos a vías de mayor importancia.

### Estudio piloto sobre velocidad

Dentro del marco del proyecto ERASER se realizaron estudios piloto relacionados con la credibilidad de los límites de velocidad, ya que en numerosos estudios sobre los caminos autoexplicativos la velocidad surge como un factor importante.

La idea de estudiar la credibilidad de los límites de velocidad radica en que con el diseño del camino se puede influir en la elección de velocidad de los usuarios. Para ello es fundamental que el diseño y la funcionalidad sean acordes con la velocidad máxima establecida, ya que será más probable que el usuario la acepte.

El estudio piloto se realizó en Alemania, Holanda y Austria y consistió en un cuestionario sobre la elección de velocidad de los conductores según distintos escenarios que se les plantearon en caminos rurales de distribución. El estudio muestra que hay características particulares que resultaron *autoexplicativas* para los tres países: ancho de carril y vegetación al costado del camino. Los usuarios mostraron una tendencia a viajar a mayor velocidad cuanto más ancho es el carril y cuando hay menos vegetación al costado del camino.

### Diagrama de flujo de diseño reconocible y comportamiento predecible

La **Figura 3** ilustra mediante un diagrama de flujo sobre cómo al hacer los caminos reconocibles se contribuye a la prevención de accidentes. Si un camino tiene un diseño reconocible,

es más probable evocar las expectativas adecuadas en relación con la propia conducta del usuario. En consecuencia, es probable que todos los usuarios del camino muestren comportamientos más homogéneos y predecibles que en caminos con diseños menos reconocibles. Con el tiempo, este comportamiento probablemente se vuelva habitual, con menos errores, resultando en una reducción de los accidentes. (Aarts & Davidse, 2007)

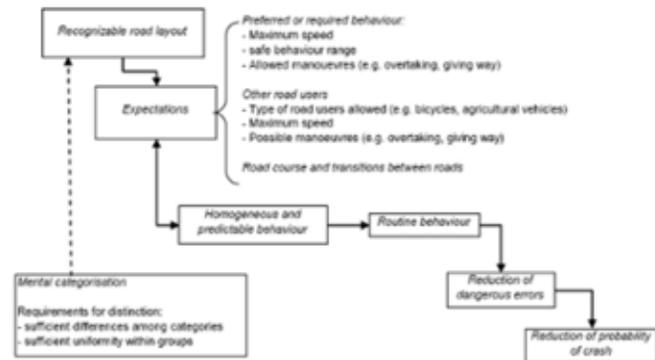


Figura 3. Diagrama de flujo de diseño reconocible y comportamiento predecible (Aarts & Davidse, 2007).

### 4.2 ALEMANIA<sup>17</sup>

A la fecha, Alemania está actualizando todas las guías de diseño geométrico de caminos para mejorar la seguridad.

Las nuevas guías de diseño deben basarse en el principio que postula **caminos estandarizados y autoexplicativos**. La estandarización de los caminos significa que habrá tipos de proyectos viales uniformes, fácilmente distinguibles. El significado de autoexplicativos en este contexto es que los caminos estén diseñados de tal manera que los usuarios puedan reconocer subconscientemente el comportamiento de conducción que se espera de ellos.

Ambas propiedades pueden alcanzarse con la definición de un número limitado de conjuntos de opciones de diseño, teniendo en cuenta los aspectos operacionales y definiendo una estrecha relación entre estos conjuntos y la función del camino.

El punto principal es establecer una orientación básica para definir las combinaciones adecuadas de diferentes tipos y tamaños de los elementos de diseño. Hasta ahora, la orientación para el diseño de caminos fue la **velocidad directriz**. Sin embargo, la velocidad directriz sólo define el radio mínimo de una curva e indirectamente las curvas de transición. La velocidad directriz no determina el tipo y ancho de las secciones transversales, el tipo de intersección o el modo de funcionamiento. Tampoco existe una fuerte relación entre la velocidad y la distancia de visibilidad necesaria, la longitud de un tramo recto, la pendiente longitudinal, el bombeo de la calzada. Por esa razón, para caracterizar los tipos básicos de caminos debe establecerse una nueva orientación denominada **clase de diseño**, que reemplace a la velocidad directriz.

Para especificar las clases de diseño se usa un modelo basado en la idea de que los requisitos básicos del diseño geométrico vial se reducen a dos parámetros: la **relevancia del tránsito de un camino y la intensidad de demanda del entorno**, **Figura 4**.

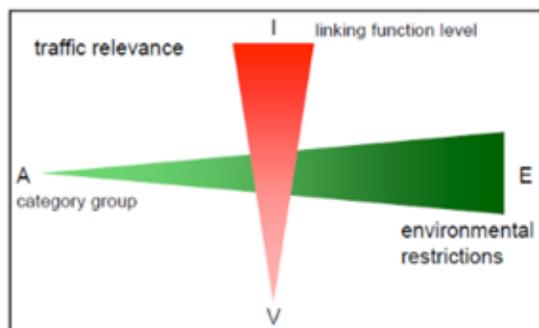


Figura 4. Modelo "Relevancia de Camino – Restricciones Ambientales"

Estos dos parámetros pueden coincidir con diferente intensidad, lo que da lugar a las clases de diseño diferentes.

Este modelo simplificado es la base de la categorización de caminos alemana conforme la estructuración funcional de las redes de caminos.

La relevancia del tránsito se expresa a través de los niveles de la función de enlace, lo que significa que "I" es sinónimo de gran relevancia, y "V" representa una relevancia muy baja. Las exigencias medioambientales se expresan a través de categorías, desde la "A" que significa exigencias ambientales muy bajas, hasta la "E", que representa una demanda muy alta.

Si los grupos de las categorías "A" a "E" expresan la importancia del medio ambiente, es decir, la intensidad con la que las demandas de desarrollo urbano y residencial tienen influencia en el camino, las autopistas tienen que ser excluidas del régimen actual de categorización, porque no existe una interacción inmediata entre las autopistas y los alrededores más cercanos.

Esto lleva a que se divida la categoría "A" en dos nuevos grupos: "AA" y "AL", correspondiendo las autopistas a la categoría "AA" y los caminos rurales a la categoría "AL". La Figura 5 muestra los grupos de categorías para caminos en Alemania.

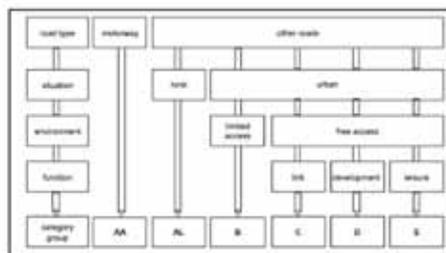


Figura 5. Grupos de Categorías de Caminos Alemanes

En este esquema, el grupo de categorías indica cuán fuertes son el desarrollo urbano y las demandas de residencia en el medio ambiente. Los grupos significan:

- "AA": ningún reclamo al medio ambiente ya que las autopistas tienen control de accesos total
- "AL": demanda muy baja debido al desarrollo agrícola
- "B": baja demanda debido a uso típico de zonas industriales en las afueras de las ciudades
- "C": demandas que surgen uso comercial
- "D": reclamos elevados, por uso residencial contiguo
- "E": demanda muy elevada como consecuencia del uso recreacional

En las zonas rurales la relevancia del tránsito define cuatro categorías:

- ALI: tránsito de larga distancia
- ALII tránsito nacional
- ALIII: tránsito regional
- ALIV: tránsito local.

Las nuevas guías de diseño alemanas no se ocuparán de los caminos de la categoría V.

También se consideran las restricciones medioambientales derivadas de la topografía, áreas naturales, paisaje y asentamientos cercanos, y para caracterizarlas se introducen dos categorías: **restricciones normales y restricciones sustanciales**.

La **Figura 6** muestra las categorías resultantes para caminos rurales.

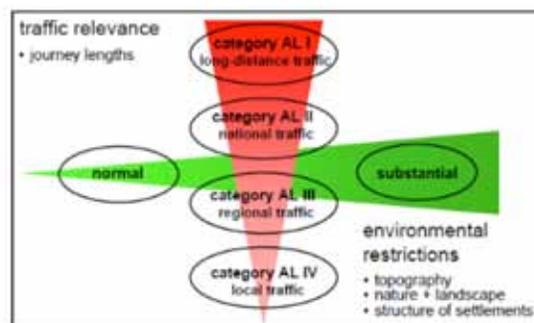


Figura 6. Categorías de Caminos Rurales

En una combinación de matriz, se obtienen 8 campos.

Para *restricciones ambientales* normales, las cuatro categorías de tránsito se corresponden directamente con las clases de diseño de los caminos rurales (EKL1 a EKL4), **Tabla 1**.

Para *restricciones ambientales* sustanciales, los caminos de una determinada categoría deben diseñarse de manera similar a caminos de la categoría inmediatamente inferior con restricciones ambientales normales.

road category	environmental demands	
	normal	substantial
AL I AL II + high traffic load	EKL 1	EKL 2
AL II AL III + high traffic load	EKL 2	EKL 3
AL III AL IV + high traffic load	EKL 3	EKL 4
AL IV	EKL 4	EKL 4

Tabla 1. Clases de Diseño para Caminos rurales

El gráfico siguiente muestra las características de diseño y operacionales alemanas para cada clase de diseño.

	D	D	D	D
Name	Design Class 1 EKL 1	Design Class 2 EKL 2	Design Class 3 EKL 3	Design Class 4 EKL 4
Function	Mobility (long distance traffic)	Mobility (interregional traffic)	Mobility (regional traffic)	Local traffic
Cross Sections				
Unique Identifier	Physical or coloured median barrier			
Crossings		partially at-grade	at level	at level
Regulation				
Speed limit			Separate cycle lane if required 	
Access to private properties	forbidden	forbidden	limited	allowed
Alignment		semi generous	semi adapted	adapted
Remarks	* Generally the speed limit outside built-up areas is 100 km/h, 110 km/h is proposed for roads of EKL 1	* Generally the speed limit outside built-up areas is 100 km/h, 100 km/h is proposed for roads of EKL 2 exceptional cases: intersections can be designed as crossings with traffic lights	* Generally the speed limit outside built-up areas is 100 km/h, 90 km/h is proposed for roads of EKL 3	* currently 100 km/h, 70 km/h is proposed

#### 4.3. DINAMARCA<sup>16</sup>

En el gráfico siguiente se comparan diseños viales de Holanda, Dinamarca y Alemania. Cada cuadro corresponde a cada clase de diseño.

En Holanda se categorizaron 3 clases de caminos, por lo que no aparece en la comparación de la Clase 2.

	DE	DK	D
Name	Designated Free Road (Designation)	High Speed Through Road (Designation)	Design Class 1 (EN 1)
Function	Mainly to	Mainly to	Mainly along urban built-up areas
Cross Sections			
Design Identifier	Physical or virtual median barrier	Emergency lanes and physical median barrier	Physical or virtual median barrier
Coverage			
Regulation			
Speed limit			
Access to private properties	allowed	restricted	restricted
Alignment			
Remarks			* Generally the speed limit is 100 km/h, 110 km/h is proposed for roads of EN 1

Tab. 39 Comparison of Dutch, Danish and German Through roads

	DK	D
Name	Medium Speed Through Road (Designation) (EN 2)	Design Class 2 (EN 2)
Function	Mainly to	Mainly (through built-up areas)
Cross Sections		
Design Identifier	Physical median barrier	Physical median barrier (EN 2) or virtual median barrier
Coverage	Signs only (speed limit, emergency lanes, coverage)	
Regulation	No speed limit	
Speed limit		
Access to private properties	allowed	restricted
Alignment		
Remarks		* Generally the speed limit is 100 km/h, 110 km/h is proposed for roads of EN 2. In exceptional cases, intermediate can be designed as coverage with traffic signs

Tab. 40 Comparison of Danish and German Medium Speed Through Road

	DE	DK	D
Name	Designated Road (Designation)	Medium Speed Road (Designation) (EN 3)	Design Class 3 (EN 3)
Function	Mainly to	Mainly (through built-up areas)	Mainly (through built-up areas)
Cross Sections			
Design Identifier	Physical Edge Line (EN 3) or virtual (EN 3)		Physical edge line together with edge line
Coverage		Signs only (speed limit, emergency lanes, coverage)	
Regulation			
Speed limit			
Access to private properties	allowed	allowed	restricted
Alignment			
Remarks		* Generally the speed limit is 100 km/h, 110 km/h is proposed for roads of EN 3	** Generally the speed limit is 100 km/h, 110 km/h is proposed for roads of EN 3

	DE	DK	D
Name	Designated Road (Designation)	Low Speed Road (Designation) (EN 4)	Design Class 4 (EN 4)
Function	Mainly to	Local traffic	Local traffic
Cross Sections			
Design Identifier	Designated road with median edge line		Designated road with median edge line
Access to private properties	allowed	allowed	allowed
Coverage		Signs only (speed limit, coverage)	
Regulation			
Speed limit			
Access to private properties	allowed	allowed	allowed
Alignment			
Remarks			* Generally 100 km/h, 110 km/h is proposed

Tab. 42 Comparison of Dutch, Danish and German Local Roads

#### 4.4. CANADÁ<sup>15</sup>

Casi todas las autoridades viales de Canadá planean, desarrollan y gestionan sus redes de caminos con los principios, métodos y fines de la clasificación funcional, indicados en la Guía TAC de Diseño Geométrico de los Caminos de Canadá. Este sistema de clasificación se basa en que los caminos sirven en grados variables a las funciones de movilidad y acceso. Estos aspectos funcionales son importantes y esenciales para la planificación de la red vial.

Sin embargo, la compleja mezcla de tipos de tránsito, usuarios de los caminos y usos de la tierra crea a menudo situaciones en las que la función del camino no siempre está claramente transmitida al usuario de la vía. Como tal, los usuarios no siempre saben cómo comportarse, qué acciones son esperadas y aceptables.

Otro factor que potencialmente confunde los conductores es la jerarquía administrativa de los caminos en la mayoría de las jurisdicciones canadienses. En muchos casos, los caminos de alta importancia pertenecen a los gobiernos provinciales/territoriales, los caminos de moderado importancia pertene-

cen a gobiernos provinciales o regionales, y los *menos importantes* son administrados por autoridades locales. A veces, las normas mínimas de diseño y las características de operación empleadas por cada nivel de gobierno son diferentes, presentan mensajes contradictorios a los conductores acerca de los comportamientos esperados.

En la actualidad, la comunidad de diseño de caminos de Canadá no formuló ninguna orientación sobre los *Camino Autoexplicativos*, lo cual no quiere decir que no se apoye el concepto. Por el contrario, los principios de coherencia en el diseño y el diseño del camino para acomodarlo a las limitaciones del comportamiento del conductor son comunes entre el concepto del camino autoexplicativo y la guía de diseño actual establecida en Canadá.

Los dos conceptos clave en el diseño de caminos autoexplicativos son: identificar las categorías subjetivas utilizadas por los automovilistas para dictar el comportamiento, e identificar los elementos visuales que los automovilistas usan para clasificar y ordenar las escenas viales en una categoría. Si estos conceptos se ejercen en el proceso de diseño, entonces los

caminos pueden diseñarse de tal manera que los usuarios del camino puedan reconocer fácilmente y distinguir *entre* diferentes tipos de camino y consecuentemente adaptar su comportamiento de conducción (elegir la velocidad de operación, la atención de la mirada, la elección de la posición en el carril, el comportamiento en el adelantamiento, etc.).

Existen dos enfoques diferentes de los caminos autoexplicativos: el camino auto-obligatorio y el camino normalizado o estandarizado. El primer enfoque trata de influir directamente sobre los usuarios, lo que significa que los caminos están contruidos para obligar los comportamientos individuales de los usuarios de estos caminos. Por ejemplo, los anchos de carril y los radios de curva se pueden seleccionar para limitar la velocidad máxima de operación cómoda a un nivel deseado. Sin embargo, el conocimiento de la relación entre la elección de la velocidad y el trazado del camino es todavía muy limitado como para diseñar caminos que automáticamente induzcan el correcto comportamiento de conducción. Por esa razón, los enfoques actuales de los caminos autoexplicativos usan trazados viales estandarizados en combinación con algunas regulaciones para manejar la conducta del usuario.

La manera actual en que se clasifican los caminos es bastante similar en las provincias de la mayor parte de Canadá y territorios. Por lo general, se trata de una combinación de la función y jerarquía del camino que conduce a un número determinado de categorías caracterizadas por un determinado conjunto de reglas de diseño. También es un tema común en la categorización de los caminos autoexplicativos utilizar la funcionalidad del camino como un elemento fundamental. Este es un enfoque deseable, porque la funcionalidad de la red debe imitar las necesidades de los usuarios, quienes necesitan caminos con velocidades más altas para conducir distancias largas en un tiempo razonable de viaje, y que en las zonas residenciales requieren vías de acceso para permitir la entrada / salida del camino a velocidades bajas.

Sin embargo, los caminos autoexplicativos no pueden detenerse en la clasificación funcional, ya que, a pesar de las distintas funciones para cada categoría de la vía, hay una cantidad significativa de superposiciones de las características de diseño para cada categoría, que resultan en diseños ambiguos al seguir las Instrucciones de Diseño Geométrico TAC.

La **Figura 7** muestra la inadecuación del sistema de clasificación funcional existente en el desarrollo de los caminos autoexplicativos. Para los caminos rurales se observa que generalmente los rangos de velocidades directrices que se seleccionan para cada categoría se solapan significativamente. De hecho, las velocidades de diseño de 100 y 110 son adecuadas para las cuatro clasificaciones funcionales, por lo que es difícil para los usuarios viales entender qué velocidad se espera, qué tipos de usuarios se encontrarán, y qué usuarios tienen prioridad en las intersecciones y en los puntos de los conflictos.

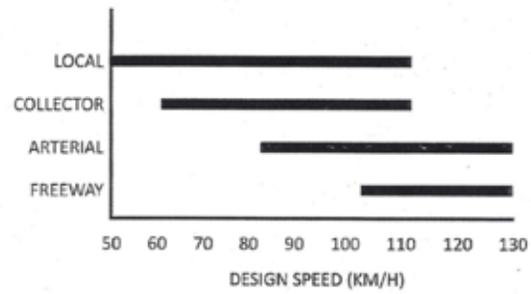


Figura 7. Clasificación de Caminos Rurales y Velocidad Directriz

Los dos principios fundamentales para categorizar los caminos CAE, son: *Homogeneidad dentro de las categorías de vías, y Heterogeneidad entre las categorías de vías.*

Es decir, los caminos de la misma categoría deben tener coherencia en el diseño, pero debe haber diferencias claras y notorias entre las categorías de los CAE.

Se observa que a pesar de que un camino tiene una función específica (o cae dentro de una determinada categoría), el volumen de tránsito puede variar entre los caminos de la misma categoría, e incluso en diferentes puntos del mismo camino. Así, se debe permitir que los caminos de la misma función difieran en el diseño de la sección transversal (sobre todo respetando el número de carriles), según los volúmenes de las horas pico, para dar cuenta de los principios básicos de eficiencia y economía. Dado que esto podría amenazar el principio de homogeneidad dentro de las categorías, puede ser aconsejable utilizar elementos de diseño distintos que el número de carriles para categorizar a los caminos.

Dado que el sistema canadiense de clasificación funcional se basa principalmente en caminos local, colectores, arteriales y autopistas, y estas clasificaciones reflejan la función, las velocidades de operación deseadas, y los usuarios permitidos del camino, una extensión del sistema de clasificación funcional parece ser una base adecuada para los CAE.

Además, el principal comportamiento del usuario que se maneja en un sistema de caminos autoexplicativos es la velocidad de operación. Por lo tanto, parece apropiado utilizar un sistema de clasificación de caminos que se base en el sistema de clasificación funcional actual, que también incluya la velocidad para subcategorizar los caminos.

La clasificación utilizada para desarrollar los CAE debería combinar la función con adecuadas regulaciones del tránsito. Esto puede hacerse muy claramente mediante el mantenimiento de las cuatro clasificaciones funcionales básicas (autopista, arterial, colector y local), subdivididas según el entorno (urbano o rural), tal como se describe en la Guía de Diseño Geométrico TAC.

Sin embargo, para hacer estas categorías más autoexplicativas deben definirse y asignarse adecuadas regulaciones de tránsito a cada categoría de camino. Lo más importante es definir bien la velocidad de cada categoría.

Una vez clasificado el camino, el concepto CAE requiere que cada categoría sea definida por un conjunto único de identificadores visuales, que los usuarios usen para determinarla rápida y eficientemente. No es realista esperar que un nuevo paradigma de diseño pueda aplicarse de inmediato a las vastas y variadas redes viales canadienses en servicio. Por lo tanto, los identificadores únicos para clasificar los CAE deben ser suficientemente flexibles como para que sean aplicables. En Canadá, los mejores ejemplos de CAE son las autopistas, caracterizadas por una mediana de separación de calzadas con o sin una barrera longitudinal, por lo menos dos carriles de circulación por sentido, separaciones de nivel con otras vías, y el uso exclusivo de vehículos automotores. Así, la apariencia visual del camino transmite un mensaje claro a los usuarios, y se clasifican subjetivamente como una instalación de alta velocidad con solo tránsito motorizado.

En principio, todos los elementos de un camino pueden utilizarse como identificadores únicos en un sistema de caminos autoexplicativos. Los elementos de diseño más notables que pueden usarse son los alineamientos horizontal y vertical, ancho del camino, superficie de la calzada, marcas viales, diseño de sección transversal, diseño de las intersecciones o conexiones, y el entorno al costado del camino.

En Canadá, la realidad de la situación es que todos los elementos del camino no pueden modificarse fácilmente. Las restricciones de diseño, las preocupaciones ambientales, las responsabilidades legales y las limitaciones presupuestarias o de recursos impiden remodelar todo el sistema de acuerdo con los principios de los CAE. Sin embargo, la naturaleza de la percepción humana permite a los proyectistas obtener resultados similares mediante la implementación de diseños perceptuales. Por ejemplo, puede reducirse el ancho del carril mediante la reaplicación de marcas longitudinales de pavimento, en lugar de reconstruir físicamente la plataforma vial. El concepto debe ser aplicable a los caminos existentes.

Los identificadores únicos, presentes y visibles, relevantes para el comportamiento del usuario, incluyendo la selección de la velocidad, propuestos para los CAE de Canadá son: tratamientos de cantero central (mediana) y marcas de borde. Los valores específicos elegidos importan para que el usuario clasifique el camino y para que maniobre adecuadamente ante un riesgo de choque.

En la **Tabla 2** se muestran los identificadores y su aplicación a las clasificaciones recomendadas.

Tipo de Camino	Tratamiento de Mediana	Marcas de Borde
Arterial principal (camino de movilidad a alta velocidad)	Barrera física o mediana	Sí, sólido continuo
Menor arterial (camino de movilidad a moderada velocidad)	Las líneas dobles y medianas pintadas de color)	Sí, sólido continuo
Distribuidor (Camino colector)	Una sola línea pintada	Sí, cortadas
Camino de Acceso (Camino local)	Sin líneas	Sin líneas

Tabla 2. Identificadores Visuales Únicos de CAE

Puede ser que para los usuarios del camino no sea inmediatamente evidente que ciertos identificadores o claves transmitan un conjunto de mensajes sobre la velocidad y otros comportamientos. Los usuarios tienen que **aprender las claves viales específicas** para inferir el comportamiento esperado y apropiado. Sin embargo, el enfoque propuesto es científicamente sólido y viable para su uso en Canadá.

**Para que los CAE beneficien, la comunidad de la seguridad vial tiene que acordar un sistema de clasificación común, y ligar identificadores visuales únicos a cada categoría.** Las propuestas anteriores son una base sólida para uso de las jurisdicciones locales, pero la comunidad nacional de seguridad vial no las adoptó. Por ejemplo, se proponen líneas de borde cortadas como un identificador único visual de los caminos rurales colector/distribuidor, pero este tipo de marcas viales no está incluido en el MUTCD de Canadá.

Hasta el momento en que las guías de diseño geométrico y los reglamentos nacionales de control de tránsito reconozcan los principios de los CAE, los proyectistas podrían usar los principios siguientes para desarrollar eficaces CAE localizados:

- Los usuarios del camino comparan la representación visual del camino con escenas de caminos en su memoria y forman expectativas relativas a una velocidad aceptable y otros comportamientos.
- Hay un número determinado de categorías subjetivas de caminos que se utilizan para estructurar comportamientos.
- Las categorías de camino deben limitarse a cuatro (más las autopistas) para aumentar la precisión y velocidad de identificar un camino.
- La categorización de los CAE subraya con razón el principio ya aceptado de separar las funciones de movilidad y acceso; importante para minimizar las diferencias de velocidad dentro de una misma categoría de camino, que a su vez reduce el riesgo de choques traseros y por adelantamiento.
- Donde se permita una mezcla de usuarios diferentes, los caminos de velocidad más alta deben diseñarse para separar físicamente a los usuarios vulnerables.
- Los identificadores visuales únicos deben utilizarse en cada categoría de camino para distinguirla de las otras categorías.

- Los identificadores únicos deben ser tales que exista una homogeneidad en los caminos dentro de una categoría, y la heterogeneidad entre las categorías.
- Los identificadores únicos para reconocer y distinguir los distintos tipos de caminos deben ser siempre visibles; por ejemplo marcas en el pavimento, diseño de la sección transversal, y tratamiento de la mediana.

## 5. CONCLUSIONES

A partir de la demostración de una mayor eficacia al ajustar el diseño geométrico según los hallazgos de la ISV en relación con el factor humano, existe una tendencia en la mayoría de los países a diseñar caminos más seguros teniendo más en cuenta las aptitudes, carencias y expectativas del conductor. Los desarrollos de diseños geométricos centrados en el usuario se están viendo en las guías, normas y recomendaciones de los organismos viales de Europa, EEUU, Canadá y Australia que incorporan conceptos novedosos y eficientes, para seguir mejorando los resultados de la ISV.

El concepto CAE relaciona el comportamiento del *factor humano* con el diseño de las características visibles del *factor camino*, según el principio de *predictibilidad*, que ayuda a los usuarios a reconocer fácilmente las distintas categorías de caminos, saber qué tipo de otros usuarios pueden encontrar y saber instintivamente cómo comportarse. De este modo, los *caminos autoexplicativos* provocan un comportamiento seguro de los conductores, simplemente porque el *adecuado diseño de sus características visibles es coherente con sus expectativas*.

Para relacionar y armonizar el diseño de las características visibles del camino y su entorno, con el previsible comportamiento de los conductores, el concepto CAE compendia conceptos y prácticas de diseño y construcción vial desarrollados desde mediados del siglo 20, tales como Clasificación funcional, Coordinación planialtimétrica, Coherencia del diseño, Costados de calzada despejados e indulgentes, Diseño vial sensible al contexto y flexible, Apaciguamiento del tránsito, etc.

La mayoría de estos conceptos y prácticas, no están atendidas, ni siquiera mencionadas en las Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales, vigentes en la Argentina.

Con normas con casi medio siglo de antigüedad, en la vialidad argentina hay una necesidad urgente de familiarizar a los ingenieros proyectistas viales con los factores actuales de seguridad y humanos de reciente desarrollo y aplicación internacional exitosa.

## 6. RECOMENDACIONES

El objetivo de este trabajo técnico fue comparar los conceptos modernos de ISV compendiados en los caminos autoexplicativos, con las Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial de la Actualización 2010, A10<sup>1</sup>.

De la comparación surgió que todos los conceptos y prácticas de diseño y construcción vial concurrentes en el concepto de caminos autoexplicativos, están ampliamente desarrollados en la A10.

En la A10, punto 1.2 Filosofía y Técnicas de Diseño<sup>1</sup>, se define al diseño geométrico como el proceso mediante el cual se relaciona al camino, a través del proyecto de todas sus características visibles, con las leyes del movimiento, las características de operación de los vehículos, y con la capacidad, defectos y psicología del conductor, definición que implícitamente hace referencia a los caminos autoexplicativos.

Como única recomendación, se solicita la pronta puesta en vigencia y aplicación del Informe Final Aprobado por la DNV - SGEyP de la Actualización 2010 de **Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial, A10**.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### DNV – EICAM.

2010 Actualización 2010

1. Informe Final Aprobado Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial. Instrucciones Generales de Estudios y Proyectos A) Obras Básicas.

<https://www.myotherdrive.com/andg2010@yahoo.com.ar>

Pass: vialidad

### CAVYT

2. XIII 2001. La Coherencia de Diseño y un Modelo Interactivo para Diseñar Caminos más Seguros. Francisco J. Sierra. DVD AAC.

3. XIV 2005. Análisis de Consistencia del Diseño en una Ruta de la Provincia de Córdoba. María G. Berardo y Alejandro Baruzzi XIV. DVD AAC

4. XIV 2005. Apaciguamiento del Tránsito - Desde los lomos de burro hasta las rotondas modernas. Luis R. Outes y Francisco J. Sierra. DVD AAC.

### SEGURVIAL 2004.

5. Efectividad de dispositivos de templado de tránsito en la Ciudad de Córdoba. María L. Albrieu, María G. Berardo, Alejandro Baruzzi, Oscar Dapás.

6. Guillermo Beltrán Rodat. Indicadores de seguridad de la infraestructura vial en los accidentes por Salida de Vía. Revisión de la velocidad límite.

### INTERNET

7. AASHTO A Guide for Achieving Flexibility in Highway Design, <http://contextsensitivesolutions.org/content/reading/guide-for-achieving-flexibility/>

8. Barton O'Callaghan. Australia: New National Guide to Road Design. VicRoads Victoria

[http://www.4ishgd.valencia.upv.es/index\\_archivos/CR1.pdf](http://www.4ishgd.valencia.upv.es/index_archivos/CR1.pdf)

9. Country Report--Germany: A New Concept for Highway Design Guidelines in Germany

<http://trid.trb.org/view.aspx?id=760582>

10. Directive 2008 / 96 / EC of the European Parliament and of the Council on road infra-structure safety management.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:319:0059:0067:EN:PDF>

11. ERASER-ERANET. Road User Pilots in Different European Countries. Report No. WP02-01 December 2011



# CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS CLASIFICADOS POR REGIONES, APLICADOS A RUTAS REPRESENTATIVAS DE SAN JUAN. SEGUNDA ETAPA

## AUTORES:

Ing. Oscar Mario **Fernández**, Ing. Carlos G. González **Alladio**

**Co-autores:** Dra.Lic. Yanina **Esper Angileri**; Ing. María Eugenia **Ruiz**; Ing. Leonardo J. **Fullana**; Dra.Lic. Nélida Susana **Ozán**

## RESUMEN

Se estudia un tramo de la Ruta Nacional N°150, desde su empalme con la Ruta N°510, en Ischigualasto, hasta el Km 16, Valle Fértil, San Juan. El clima es semiárido templado, la temperatura media anual es 17,8°C, la máxima absoluta 45°C y la humedad del 59%. La precipitación máxima anual es de 656,4 mm con un promedio de 200 a 250 mm. Las unidades aflorantes más antiguas son gneises del Proterozoico, sobre estos se apoyan areniscas del Carbonífero, del Pérmico y del Triásico. Depósitos aluviales modernos rellenan los valles y las zonas intermontanas. El escurrimiento superficial está caracterizado por arroyos temporarios alimentados por precipitaciones estivales de corta duración pero de carácter torrencial. Estas originan crecientes cortas y violentas que provocan daños a la sección de la ruta que estamos considerando.

El presente trabajo consiste en determinar los caudales máximos teóricos, para compararlos y ajustarlos con los caudales máximos realmente escurridos en las obras de arte existentes, para ello se realizó la evaluación de los aspectos hidrológicos de las cuencas principales. Se delimitaron las cuencas, analizaron y calcularon sus parámetros morfométricos, mediante la interpretación y análisis digital de imágenes satelitales, usando tecnología GIS. En trabajos de campaña se realizaron mediciones en las alcantarillas existentes y evaluaron los cauces para adoptar los valores de las variables que intervienen en las fórmulas.

Finalmente, con los valores de comparación entre caudales, se obtuvo los coeficientes óptimos de ajuste para calibrar los parámetros y aplicarlos en las fórmulas de los métodos elegidos. Las expresiones teóricas calibradas facilitan la adopción de medidas correctivas en aquellos sectores conflictivos.

## INTRODUCCIÓN

En las etapas preliminares de los estudios hidrológicos, es necesario evaluar tanto el efecto de la alteración del escurrimiento natural de los caudales que impondrá la presencia de la futura obra vial, como las consecuencias de la concentración de los mismos sobre cada una de las alcantarillas del camino a construir. Es esencial que ambas consideraciones sean reconocidas en las etapas de planificación para que puedan luego recibir

adecuado tratamiento en la etapa del diseño geométrico de las alcantarillas. En cualquiera de las dos evaluaciones precedentes, y con mayor énfasis en la fase del diseño hidráulico de las obras de arte respectivas, es necesario determinar con un grado de aproximación suficiente los caudales máximos que para los periodos de recurrencia seleccionados han de solicitar a las alcantarillas, a las obras de encauzamiento, a las defensas o a las estructuras de disipación de energía.

El objetivo principal del presente trabajo consiste en determinar los caudales máximos teóricos mediante el Método General Racionalizado del Ing. Federico Ruhle de la D.N.V (Ruhle, 1966), y el Método Racional Clásico, (Kuichling, 1989), para compararlos con los caudales máximos efectivamente escurridos en las obras de arte existentes observados en el campo en el tramo de ruta seleccionada para esta segunda etapa, de la Provincia de San Juan. Finalmente con las expresiones teóricas calibradas a nuestras condiciones climatológicas y de suelos se facilitará, entre otras aplicaciones, la adopción de medidas correctivas para las obras hidráulicas de aquellos sectores de rutas que recurrentemente sufren deterioros de importancia en las épocas estivales.

## ÁREA DE ESTUDIO

Para el presente trabajo se estudia un tramo de la Ruta Nacional N°150, desde el empalme con la Ruta Provincial N° 510, localidad de Ischigualasto (Dpto Valle Fértil) hasta el Km 16, en dirección a la localidad de Huaco y la Ruta Nacional N°40 en la localidad de San Roque del departamento Jáchal en la provincia de San Juan (Figura 1).

El clima se caracteriza por ser semiárido templado, con temperaturas moderadas. Posee elevados valores de precipitaciones y la heliofanía en el verano es muy intensa. La temperatura media anual oscila alrededor de los 17,8°C, la máxima absoluta es de 45°C, siendo la humedad ambiente en promedio del 59%. Los valores de precipitación máxima registrada son de 656,4 mm en 1981 y un mínimo de 151mm en 1970. El promedio anual es de 200 a 250 mm, correspondiendo una media de 20 a 40 mm para enero y de 0 a 10 mm para julio.

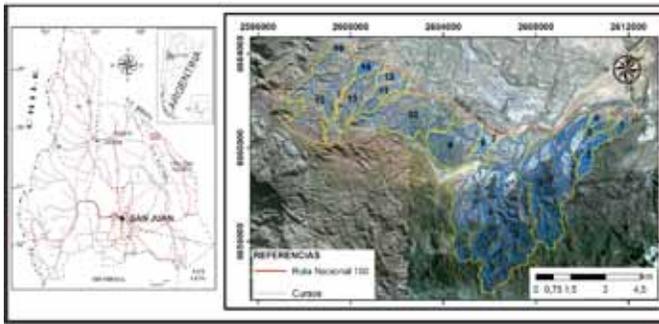


Figura N°1. Ubicación del tramo de ruta estudiado y cuencas principales.

Desde el punto de vista geológico las unidades aflorantes más antiguas corresponden a depósitos del Proterozoico Superior integrados por gneises granodioríticos y tonalíticos con o sin granate intercalados con bancos y lentes de anfibolitas y de gneises con biotita, granate, cordierita y sillimanita. Sobre estos se observan un elevado número de formaciones Neopaleozoicas comprendidas principalmente por una sección inferior de areniscas y pelitas con niveles de carbón atribuidos al Carbonífero superior, y otra sección superior de capas rojas esencialmente referida al Pérmico inferior y concordantes con la anterior. Sobreyacen en discordancia angular una sucesión en la que predominan las psamitas de grano fino de color rojo pálido del Triásico inferior. Culminan la secuencia depósitos aluviales modernos inconsolidados, de diversas granulometrías, que rellenan los valles y las zonas intermontanas. Se trata de arenas, gravas y limos totalmente inconsolidados que han sido y son acarreados por el agua, el viento o por remoción en masa (Figura 2).

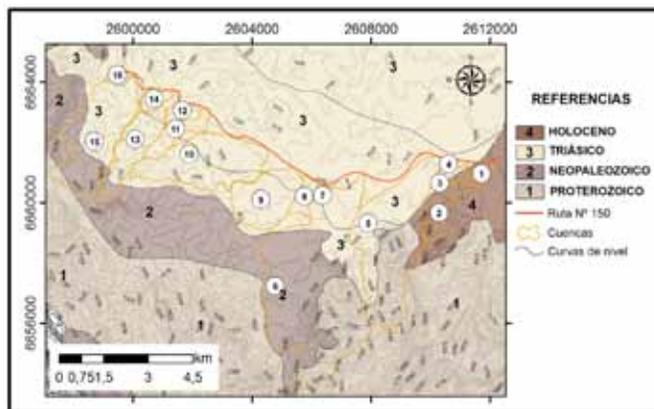


Figura N°2. Unidades geológicas aflorantes y cuencas principales.

## METODOLOGÍA

La delimitación de cuencas y marcado de red de drenaje se obtienen a partir de la interpretación y análisis digital de imágenes satelitales Ikonos (4m de resolución) y Landsat ETM (30 y 15 m de resolución), usando tecnología GIS (ArcGis). Además se han utilizado cartas topográficas a escala: 1:100.000 del año 1983. Para efectuar el estudio hídrico de las cuencas, estas han sido enumeradas de 1 a 16 y se han evaluado algunas caracterís-

ticas morfométricas que son indicadores cuantitativos de los elementos de la cuenca y que influyen en la magnitud y variabilidad de los procesos hidrológicos: superficie de la cuenca (A), perímetro (P), longitud del cauce principal (L), cota máxima (H<sub>máx</sub>), cota mínima (H<sub>mín</sub>), desnivel del cauce principal (H<sub>c</sub>) y pendiente media del cauce principal (pc).

Para el estudio de los derrames que producen las cuencas en el momento que ocurren las precipitaciones sobre todo en épocas de verano, es necesario disponer de la información correspondiente a datos de lluvias registradas históricas, para ello han sido utilizados los datos recabados por las estaciones meteorológicas Baldes del Rosario (registro 1968 – 1994) y Usno (registro 1968 – 1987). Con los registros de lluvias se calculan los caudales de diseño mediante los métodos empíricos propuestos: el Método Racional y el Método Racional Generalizado del Ing. Federico Rhule de la Dirección Nacional de Vialidad de nuestro país. Para el primer caso, los registros se procesan mediante el método estadístico de Gumbel para determinar las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.

Para el Método Racional clásico se utilizó la expresión genérica para el caudal de proyecto Q que descarga una cuenca, medido en el punto de intersección del su cauce principal con el camino, o punto de control es la siguiente

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{K}$$

Donde:

Q = Caudal o descarga, en m<sup>3</sup> por segundo

C = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca (adimensional)

A = Área de la cuenca, en hectáreas (ha)

I = Intensidad en mm/hora; es la máxima precipitación media correspondiente al periodo de retorno e intervalo de tiempo más desfavorable (tiempo de concentración).

K = Coeficiente cuyo valor depende de las unidades en que se expresan Q, A e I (su valor es 360 para Q en m<sup>3</sup>/seg, A en hectáreas, e I en mm/h)

Los valores típicos utilizados para adoptar el valor de “C” se encuentran tabulados según las características topográficas y fitográficas de las cuencas y la posibilidad de almacenamiento de agua en el suelo (Manual de Carreteras de la Dirección Nacional de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile, en la Parte III, capítulo 3700, tabla 3702.503.B.).

Para determinar las intensidades aplicadas a cada una de las cuencas estudiadas, se debe realizar un análisis estadístico de las precipitaciones diarias máximas anuales, mediante la asignación de probabilidades a las precipitaciones utilizando la fórmula de Weibull. Este procedimiento utilizado que lo aplicamos para las dos estaciones meteorológicas elegidas

consta de los siguientes pasos: a) Ordenar en forma decreciente los datos de lluvias máximas diarias anuales para los años del registro seleccionado b) Calcular el periodo de retorno para cada uno de los datos con la ecuación:

$$T = \frac{N + 1}{n}$$

Donde:

n: número de orden de la precipitación diaria máxima anual correspondiente al ordenamiento decreciente.

N: número total de años de registros

T: periodo de retorno, en años

Mediante el modelo probabilístico de Gumbel, a través de la siguiente ecuación se obtiene un valor de precipitación asociado a un periodo de retorno determinado:

$$Pt = \frac{-\ln(-\ln(1 - 1/T))}{a} + \mu$$

Donde: Pt: precipitación máxima anual (mm), para un periodo de retorno T.

T: periodo de retorno (años)

u, a: parámetros de la distribución de Gumbel, calculadas con las siguientes fórmulas:

$$a = \frac{Sn}{Sx} ; \mu = Xm - (Sx \cdot \frac{Yn}{Sn}) ; Sx^2 = \frac{\sum (Xi - Xm)^2}{N - 1}$$

Donde: Xm: promedio aritmético de la muestra (mm)

Sx: desviación estándar de la muestra (mm)

Yn: valor medio de la variable reducida.

Sn: desviación estándar de la variable reducida.

Posteriormente, se aplica la fórmula empírica de Grunsky para el cálculo de la intensidad media máxima de la lluvia de 24 horas.

$$I_{24} = \frac{Pt (\text{precipitación máxima diaria para cada periodo de retorno})}{24 \text{ horas}}$$

Luego se determinan las curvas de intensidad-duración-frecuencia, y se calculan con la siguiente ecuación las intensidades correspondientes a cada duración (It) utilizando el valor calculado de  $I_{24}$ .

$$It = I_{24} \left( \frac{24 \cdot 60}{t} \right)^{0.50} \text{ (mm/hr)}$$

Finalmente, con los datos obtenidos se confeccionan los gráficos de Intensidad - Duración - Frecuencia, donde en el eje de las ordenadas va las intensidades de lluvia (It), y en el eje de las abscisas las diferentes duraciones "t" (min).

Para el cálculo del Tiempo de Concentración se ha adoptado la de California Culvert Practice.

$$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

tc: tiempo de concentración (minutos)

L: longitud del cauce principal (m)

H: diferencia de elevación entre el punto más alejado y el de control (m)

Para la aplicación del Método Racional Generalizado se ha utilizado la siguiente expresión:

$$Q = \alpha \times \beta \frac{A \cdot E \cdot R_i}{K}$$

Donde:

Q = Caudal o descarga, en m<sup>3</sup> por segundo

E = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca (adimensional)

A = Área de la cuenca, en hectáreas (ha)

RI = Intensidad en mm/hora; es la máxima precipitación media correspondiente al periodo de retorno e intervalo de tiempo más desfavorable (tiempo de concentración).

$\alpha$  = Es un coeficiente, que tiene en cuenta la influencia sobre el derrame, de la menor intensidad de la precipitación areal, con relación a la intensidad puntual R que se pueda producir en algún punto determinado de la cuenca. Este valor, que en condiciones medias varía entre 0.85 y 0.93, disminuye a medida que el área y la intensidad de la precipitación aumentan.

$\beta$  = Es un coeficiente, que tiene en cuenta la reducción del derrame por la retención del cauce. Como ésta, es proporcional prácticamente al caudal., este coeficiente es aproximadamente constante cualquiera sea el derrame. En condiciones medias, se ha tomado  $\beta = 0.90$ .

K = Coeficiente cuyo valor depende de las unidades en que se expresan Q, A e I (su valor es 360 para Q en m<sup>3</sup>/seg, A en hectáreas, y RI en mm/h)

En este método el Ing. Rhule propone para el cálculo del tiempo de concentración la siguiente expresión:

$$t_c = Z \cdot \frac{L}{H^{0.3}}$$

Donde:

$z$  y  $m$ : Constantes genéricas que dependen de  $L$  y  $L'$   $L'$ : Longitud virtual del cauce, depende de las características hidrológicas del cauce, considerando un factor de rugosidad relativa del cauce " $K$ " que contempla una mayor o menor resistencia al escurrimiento de las aguas. Los valores de " $K$ " se encuentran tabulados.

$H''$ : Desnivel virtual, es función del perfil longitudinal del cauce Tipo **a**: Cauce con pendiente uniforme Tipo **b**: Cauce contendiente gradualmente variada Tipo **c**: Cauce con perfil quebrado

El valor de Intensidad de precipitación se extrae del mapa de isohietas propuesto por el Ing. F. Rhule para diferentes puntos de Argentina. De esta manera para la zona en estudio se adoptó una intensidad de lluvia de  $RH = 35$  mm/hora. Cuando se necesita calcular el valor de la intensidad para periodos de retorno diferentes a 25 años, se procede a utilizar la siguiente expresión.

$$R_T = R_{25} \left[ 1 + 0.44 \frac{50}{50 + R_{25}^{0.5}} \times \log \frac{T}{25} \right]$$

Donde:

$R_{25}$ : Intensidad horaria para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración y  $n$  período de recurrencia de 25 años.

$T$ : Período de recurrencia en años.

Para el cálculo del Coeficiente de Escorrentía se utiliza la siguiente expresión:

$$E = (1 - m) - (1 - m - C) \times \frac{70}{R_T}^{1-p}$$

Donde:

$m$  y  $p$ : constantes que dependen del valor de " $C$ " adoptado.

$C$ : es un coeficiente que se encuentra tabulado y se determina en función del tiempo de concentración de la cuenca estudiada de su vegetación y permeabilidad.

Una vez calculados los caudales teóricos por la aplicación de los métodos mencionados se procedió a realizar mediciones en las obras de arte existente y representativa de cada sección del tramo en la ruta seleccionada. Las mismas se relevaron de acuerdo a lo planificado para las tareas de campo consignando y evaluando el tipo de alcantarilla, dimensiones, estado de la estructura y condiciones de funcionamiento hidráulico; describiendo los procesos erosivos o de sedimentación constatados, datos de máximas alturas de inundación (aguas arriba y aguas abajo del conducto) de las máximas crecidas y comportamiento hidráulico de acuerdo a vestigios observados.

Con los datos geométricos de las secciones de las alcantarillas, vestigios de tirantes de agua medidos, pendiente del conducto se estudió la verificación hidráulica del escurrimiento en el conducto, determinando así en base a esta información los caudales que aproximadamente pudieron escurrir por los mismos, o que en algunos casos sobrepasaron las alturas previstas en la obra. Para el cálculo hidráulico se utilizó el software CULVERT MASTER (Diseño hidráulico de alcantarillas) de Haestad Methods, Inc. de Estados Unidos de Norteamérica, que utiliza bajo diseño Windows el procedimiento desarrollado con las expresiones de cálculo expuestas en "Hydraulics Design of Highway Culverts", publicados en el Report N° FHWA - IP -85 - 15 de la Federal Highway Administration de Estados Unidos, como así también en el libro "Carreteras, Estudio y Proyecto" de Jacob Carciente, con los correspondientes nomogramas de diseño en caso de utilizar este procedimiento.

Una vez determinados los valores de los caudales tanto teóricos como los hidráulicos que pueden haber escurrido por las alcantarillas seleccionadas, se hacen análisis de los resultados apoyándose en la determinación de algunos parámetros para comparar los resultados de los caudales obtenidos.

1)  $R_c$ : Relación de caudales, es el cociente entre el caudal hidrológico y el caudal hidráulicos

$$R_c = \frac{\text{Caudal Hidrológico}}{\text{Caudal Hidráulico}}$$

2)  $P_R$ : Promedio de la relación de caudales, es el cociente entre la suma de los  $R_c$  de un análisis determinado y un número " $n$ " de muestras empleados.

$$P_R = \frac{\sum R_c}{n}$$

3)  $ID$ : Índice de dispersión, es la sumatoria de los valores absolutos de los  $R_c$  menos la unidad, dividido por el número " $n$ " de la muestra.

$$ID = \frac{\sum |R_c - 1|}{n}$$

## RESULTADOS

Se delimitaron un total de 16 cuencas, sus parámetros morfológicos se detallan en la Tabla 1. Analizando las mismas pudo observarse que el escurrimiento superficial está caracterizado por arroyos de régimen efímero, cuyo único sistema de aporte son precipitaciones estivales de corta duración pero de carácter torrencial. Estas provocan una gran escorrentía superficial que origina crecientes cortas, violentas y con altas velocidades de escurrimiento, favorecidas por la escasa vegetación natural y por la elevada pendiente en el área montañosa y transportan

cantidades de material sólido que se acumula en la planicie aluvial, provocando daños a la porción de ruta que estamos considerando. En general son cuencas de elevada pendiente, lo que favorece una rápida descarga.

Nº de Cuenca	área (km2)	perímetro (km)	long cauce prin (km)	cota máx (m)	cota mín (m)	desnivel (m)	pendiente (%)
1	0,36	2,80	1,26	1424	1398	26	2,06
2	1,14	7,70	4,01	1572	1404	168	4,19
3	0,75	5,54	2,83	1542	1411	131	4,62
4	0,27	2,65	1,15	1433	1413	20	1,74
5	9,04	15,77	8,63	1717	1416	301	3,49
6	16,97	21,29	10,83	1743	1425	318	2,94
7	0,06	1,42	0,68	1473	1447	26	3,81
8	0,70	4,02	1,61	1493	1440	53	3,30
9	3,31	7,34	2,75	1503	1441	62	2,25
10	5,59	11,73	5,47	1649	1454	195	3,57
11	1,20	6,65	3,28	1606	1459	147	4,49
12	0,55	3,42	1,59	1535	1463	72	4,52
13	2,79	10,41	4,36	1639	1467	172	3,94
14	0,64	3,66	1,56	1549	1485	84	5,39
15	6,36	13,43	5,41	1606	1490	116	2,14
16	0,19	2,24	1,10	1541	1488	53	4,81

Tabla N°1. Parámetros morfométricos de cuencas principales.

En la aplicación del Método Racional clásico se adoptaron los valores del coeficiente "C" como se muestran en la Tabla 2.

Cauces Nº	10;11;13;15	1;3;4;5;6;7;8;9;12;14
Factor		
Relieve	0.25	0.20
Infiltración	0.06	0.06
Coertura vegetal	0.12	0.12
Almacenamiento superficial	0.08	0.08
<b>Total</b>	<b>0.51</b>	<b>0.46</b>
<b>Valor Adoptado</b>	<b>0.56</b>	<b>0.51</b>

Tabla 2. Coef. "C" para la Ruta Nacional No 150

Los valores de intensidad de lluvia calculados con los datos de las estaciones metereologicas seleccionadas se muestran en las Tablas 3 y 4. Con los datos obtenidos en estas Tablas se confeccionan los gráficos de Intensidad - Duración - Frecuencia, donde en el eje de las ordenadas va las intensidades de lluvia (I), y en el eje de las abscisas las diferentes duraciones "t" (min). Dicha representación se muestra en los Gráficos 1 y 2.

T <sub>c</sub> (min)	I (10 años)	I (30 años)	I (50 años)	I (100 años)
5	56,51	72,21	79,25	88,74
10	39,96	51,06	56,04	62,75
15	32,63	41,69	45,75	51,23
20	28,26	36,10	39,62	44,37
30	23,07	29,48	32,35	36,23
40	19,98	25,53	28,02	31,37
50	17,87	22,83	25,06	28,06
60	16,31	20,84	22,88	25,62
80	14,13	18,05	19,81	22,19
100	12,64	16,15	17,72	19,84
120	11,54	14,74	16,18	18,11

Tabla 3. Intensidad de lluvia (mm/h), para diferente tiempos de duración y periodos de retorno. Estación Baldes del Rosario.

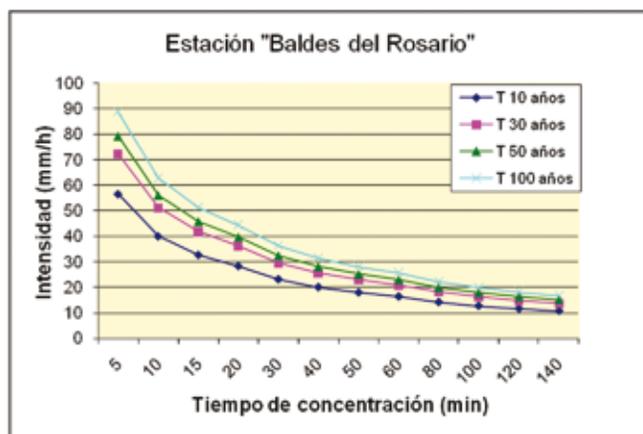


Gráfico N° 1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

T <sub>c</sub> (min)	I (10 años)	I (30 años)	I (50 años)	I (100 años)
5	76,14	98,90	109,30	123,32
10	53,84	69,94	77,28	87,20
15	43,96	57,10	63,10	71,20
20	38,07	49,45	54,65	61,66
30	31,08	40,38	44,62	50,34
40	26,92	34,97	38,64	43,60
50	24,08	31,28	34,56	39,00
60	21,98	28,55	31,55	35,60
80	19,03	24,73	27,32	30,83
100	17,02	22,12	24,44	27,57
120	15,54	20,19	22,31	25,17

Tabla 4. Intensidad de lluvia (mm/h). Estación meteorológica Usno.

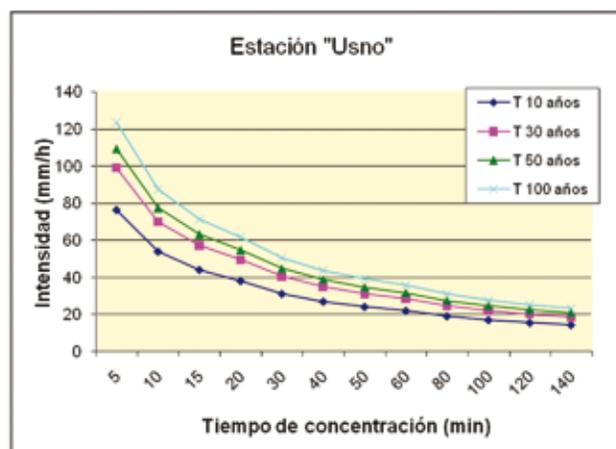


Gráfico N 2. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

En las Tablas 5 y 6, se indican los cálculos de los caudales obtenidos del Método Racional clásico para las alcantarillas, adoptando un periodo de recurrencia de 30 años con los datos de la estación meteorológica Baldes del Rosario y Usno, respectivamente.

Alc. N°	Progr. (km)	Cuenca N°	Esriaje del cauce (grados)	Área Cuenca (Ha)	Longitud Cauce (Km)	Desnivel H (m)	Tiempo de Concent. (tc)	Int. Lluvia (P/ltc)	Coef. De Esc. (C)	Caudal Q (m³)
1	45,00	1	90	35,71	1260,93	26	21,21	35,06	0,51	1,77
2	635,00	2	80	114,37	4012,82	168	39,38	25,73	0,56	4,58
3	1050,00	3	60	75,35	2832,88	131	28,99	29,99	0,51	3,20
4	1258,00	4	80	27,45	1150,88	20	21,12	35,14	0,51	1,37
5	2020,00	5	60	904,22	8628,54	301	76,17	18,50	0,56	26,02
6	5122,00	6	70	1697,43	10827,32	318	96,93	16,40	0,56	43,30
7	6628,00	7	90	12,00	682,43	26	10,44	49,98	0,51	1,23
8	7262,00	8	90	70,25	1607,13	53	21,34	34,95	0,51	3,48
9	7628,00	9	90	331,12	2752,03	62	37,39	26,40	0,51	12,39
10	8712,00	10	80	531,20	5467,51	195	53,15	22,15	0,56	16,24
11	11377,00	11	70	104,43	3276,41	147	32,80	28,19	0,56	4,58
12	11724,00	12	60	54,68	1591,23	72	18,75	37,29	0,51	2,89
13	12744,00	13	90	278,8	4363,88	172	42,99	24,62	0,56	10,68
14	12939,00	14	60	64,19	1559,43	84	17,26	38,86	0,51	3,53
15	14346,00	15	70	638,30	5414,42	116	64,19	20,15	0,56	20,01
16	14613,00	16	70	19,00	1100,00	53	13,77	43,51	51,00	1,17

Tabla 5. Cálculo de caudales. Estación Baldes del Rosario.

Alc. N°	Progr. (km)	Cuenca N°	Esriaje del cauce (grados)	Área Cuenca (Ha)	Longitud Cauce (m)	Desnivel H (m)	Tiempo de Concent. (tc)	Int. Lluvia (P/ltc)	Coef. De Esc. (C)	Caudal Q (m³)
1	45,00	1	90	35,71	1260,93	26	21	35,06	0,51	2,43
2	635,00	2	80	114,37	4012,82	168	39	25,73	0,56	6,27
3	1050,00	3	60	75,35	2832,88	131	29	29,99	0,51	4,39
4	1258,00	4	80	27,45	1150,88	20	21	35,14	0,51	1,87
5	2020,00	5	60	904,22	8628,54	301	76	18,50	0,56	35,64
6	5122,00	6	70	1697,43	10827,32	318	97	16,40	0,56	59,30
7	6628,00	7	90	6,33	682,43	26	10	49,98	0,51	1,68
8	7262,00	8	90	70,25	1607,13	53	21	34,95	0,51	4,77
9	7628,00	9	90	331,12	2752,03	62	37	26,40	0,51	16,97
10	8712,00	10	80	120,33	5467,51	195	53	22,15	0,56	22,24
11	11377,00	11	70	104,43	3276,41	147	33	28,19	0,56	6,27
12	11724,00	12	60	54,68	1591,23	72	19	37,29	0,51	3,96
13	12744,00	13	90	278,77	4363,88	172	43	24,62	0,56	14,63
14	12939,00	14	60	64,19	1559,43	84	17	38,86	0,51	4,84
15	14346,00	15	70	638,30	5414,42	116	64	20,15	0,56	27,40
16	14613,00	16	70	19,00	1100,00	53	13,77	59,59	0,51	1,60

Tabla 6. Cálculo de caudales. Estación Usno.

Para la aplicación del Método Racional Generalizado y de acuerdo a lo observado en el terreno se decidió adoptar un coeficiente de Rugosidad Relativa  $K=1$  correspondiendo una rugosidad de Manning  $n=0,05$

Una vez definidos los parámetros que intervienen en la expresión del Método Racional Generalizado del Ing.F Rhule, se calcularon los caudales de las cuencas y se volcaron los resultados a la Tabla 7.

Alcantarilla N°	Progr. (km)	Cuenca N°	Esriaje del cauce (grados)	Área Cuenca (Ha)	Longitud Cauce (Km)	Desnivel H (m)	Tiempo de Concent. (tc)	Intensidad Lluvia (P/ltc)	Caract. de cuenca (C)	Caudal Q (m³)
1	45,00	1	90	35,71	1,261	116	72,0	31,7	0,46	2,60
2	635,00	2	80	114,37	4,013	84	23,8	66,6	0,39	4,60
3	1050,00	3	60	75,35	2,833	172	52,6	39,6	0,42	3,90
4	1258,00	4	80	27,45	1,151	72	25,5	63,8	0,46	2,00
5	2020,00	5	60	904,22	8,629	147	42,4	45,9	0,36	23,60
6	5122,00	6	70	1697,43	10,827	195	62,1	35,2	0,33	35,00
7	6628,00	7	90	6,33	0,682	62	46,5	43,1	0,52	0,80
8	7262,00	8	90	70,25	1,607	53	28,2	59,9	0,45	4,80
9	7628,00	9	90	331,12	2,752	26	13,3	92,8	0,40	14,10
10	8712,00	10	80	120,33	5,468	318	100,5	24,8	0,41	4,30
11	11377,00	11	70	104,43	3,276	301	82,8	28,6	0,46	1,78
12	11724,00	12	60	54,68	1,591	20	26,2	62,8	0,46	4,10
13	12744,00	13	90	278,77	4,364	131	38,2	49,2	0,43	11,80
14	12939,00	14	60	64,19	1,559	168	49,1	41,5	0,47	5,00
15	14346,00	15	70	638,30	5,414	26	26,8	61,9	0,38	19,40
16	14613,00	16	70	19,00	1,10	53	18,50	77,40	0,48	1,17

Tabla 7. Cálculo de caudales. Método Racional Generalizado (Ruhle).

Todas las obras de arte inspeccionadas en el campo son de tipo de caño de chapa cincada, según plano tipo H-10236 de la D.N.V, las cabeceras de las alcantarillas son de hormigón y las biseladas con talud revestido. En la Tabla 8 se informan los datos de las alcantarillas relevadas en campo.

En la Tabla 9 se muestran los valores de los caudales calculados para las alcantarillas según datos de campaña.

Alcant.	Progr.	Cuenca	Punto GPS	Esriaje conducto	Tipo de Alcantarilla Existente	Sección Diámetro	Longitud Cond.	Pend. Cond.	Altura tirante arriba	Altura tirante abajo
N°	(Km)	N°	N°	(grados)		m	m	%	m	m
1	45,00	1	C1	90	GuardaQ	1,00x1,00	15	1,00	0,50	0,30
2	635,00	2	C2	80	H-10236	2xφ=1,80	16	1,50	1,10	0,70
3	1050,00	3	C3	60	H-10236	2xφ=1,70	19	2,00	0,70	0,60
4	1258,00	4	C4	80	H-10236	φ=1,20	15	3,70	0,50	0,35
5	2020,00	5	C5	60	H-10236	3,φ x φ=2,40	22	1,00	3,00	2,00
6	5122,00	6	C6	70	H-10236	4xφ=3,00	18	1,00	1,70	0,70
7	6628,00	7	C7	90	H-10236	φ=1,70	15	1,50	1,10	0,75
8	7262,00	8	C8	70	H-10236	2xφ=1,70	18	4,00	1,50	0,50
9	7628,00	9	C9	90	H-10236	3xφ=2,40	21	1,80	0,80	0,50
10	8712,00	10	C10	80	H-10236	3xφ=2,40	21	2,00	2,00	1,50
11	11377,00	11	C11	70	H-10236	2xφ=1,70	25	6,00	1,10	0,60
12	11724,00	12	C12	60	H-10236	2xφ=2,00	39	2,00	1,70	0,60
13	12744,00	13	C13	90	H-10236	2xφ=2,40	26	2,00	2,20	1,20
14	12939,00	14	C14	60	H-10236	2,φ x φ=1,50	19	3,30	1,10	0,60
15	14346,00	15	C15	70	H-10236	3xφ=2,40	34	3,60	2,20	1,40
16	14613,00	16	C16	90	H-10236	φ=1,20	21	4,70	0,90	0,40

Tabla 8. Datos de relevamiento de alcantarillas

Alcant.	Progr. en el eje	Pred. caudales	Longitud cond.	Diámetro y Sección	Verificación Hidráulica				Caudal Q	Velocidad V	Suma de Coeficientes	Alcantarilla tipo		
					Intensidad media En vertice (P/ltc)	Intensidad En el caño	Control de talud	Coef. de Esc.						
N°	(km)	m³	(m)	(m)	(P/ltc)	(P/ltc)	(P/ltc)	(C)	m³	m/seg	s	Sección		
1	45,00	1,7	17,00	1,00x1,00	35,06	35,06	0,70	0,71	0,68	4,29	3,00	1	H-10236	
2	635,00	1,7	16,00	2xφ=1,80	25,73	25,73	0,78	0,79	0,68	4,29	3,00	2	H-10236	
3	1050,00	1,7	19,00	2xφ=1,70	29,99	29,99	0,60	0,61	0,68	3,28	2,00	3	H-10236	
4	1258,00	1,7	13,00	φ=1,20	35,14	35,14	1,00	0,93	0,68	3,28	3,17	4	H-10236	
5	2020,00	1,7	22,00	3,φ x φ=2,40	18,50	18,50	1,71	1,70	32,33	3,18	3	H-10236		
6	5122,00	1,7	18,00	4xφ=3,00	16,40	16,40	1,00	1,12	22,99	3,41	4	H-10236		
7	6628,00	1,7	17,00	φ=1,70	49,98	49,98	0,50	0,50	0,58	3,48	2,11	5	H-10236	
8	7262,00	0,89	18,00	2xφ=1,70	34,95	34,95	0,70	0,70	0,68	4,09	3,00	7	H-10236	
9	7628,00	1,9	23,00	3xφ=2,40	26,40	26,40	1,30	0,90	0,67	28,99	3,07	8	H-10236	
10	8712,00	2	23,00	3xφ=2,40	22,15	22,15	1,10	1,09	22,88	3,08	3	H-10236		
11	11377,00	4	23,00	2xφ=1,70	28,19	28,19	0,50	0,50	0,68	4,67	4,11	7	H-10236	
12	11724,00	2	19,00	2xφ=2,00	37,29	37,29	0,70	0,71	0,68	3,38	3,00	7	H-10236	
13	12744,00	2	16,00	2xφ=2,40	24,62	24,62	1,10	1,10	10,28	3,07	2	H-10236		
14	12939,00	3,3	19,00	2,φ x φ=1,50	38,86	38,86	0,70	0,70	0,74	3,11	3	H-10236		
15	14346,00	3,8	14,00	3xφ=2,40	20,15	20,15	1,40	1,41	10,00	26,70	0,00	3	H-10236	
16	14613,00	4,7	23,00	φ=1,20	43,51	43,51	0,90	0,92	0,77	0,40	0,11	0,17	4	H-10236

Tabla 9. Verificación hidráulica de alcantarillas. Cálculo de caudales.

En las Tablas 10 y 11 se muestran los valores de Relación de caudales (Rc) e Índice de dispersión (ID).

Alcantarilla	Caudal Teórico Q Estación "Baldes del Rosario"	Caudales Evacuados por conducto Q	Intensidad lluvia (P/ltc)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 0
N°	m³	m³	mm/h			
2	4,58	4,25	25,73	1,08	0,08	0,08
3	3,20	2,24	29,99	1,43	0,43	0,43
4	1,37	0,92	35,14	1,49	0,49	0,49
5	26,02	32,31	18,50	0,81	-0,19	0,19
6	43,30	32,80	16,40	1,32	0,32	0,32
7	1,23	1,40	77,30	0,88	-0,12	0,12
8	3,48	4,95	34,95	0,70	-0,30	0,30
9	12,39	10,50	26,40	1,18	0,18	0,18
10	16,24	22,68	19,65	0,72	-0,28	0,28
11	4,58	4,67	28,19	0,98	-0,02	0,02
12	2,89	5,25	37,29	0,55	-0,45	0,45
13	10,68	15,20	24,62	0,70	-0,30	0,30
14	3,53	3,74	38,86	0,94	-0,06	0,06
15	20,01	26,70	20,15	0,75	-0,25	0,25
16	1,17	1,11	43,51	1,05	0,05	0,05
Suma	14,68					3,62

Promedio de Rc	0,97
Índice de Dispersión	0,23

Tabla 10. Método Racional Clásico. Relación de caudales (Rc) e Índice de dispersión (ID)

Alcantarilla	Caudal Teórico Q	Caudales Evacuados por el conducto Q	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 0
Nº	m3	m3			
2	4.60	4.25	1.08	0.08	0.08
3	3.90	2.24	1.74	0.74	0.74
4	1.80	1.34	1.34	0.34	0.34
5	23.50	32.31	0.73	-0.27	0.27
6	35.00	32.80	1.07	0.07	0.07
7	0.80	1.40	0.57	-0.43	0.43
8	4.80	4.95	0.97	-0.03	0.03
9	14.10	10.50	1.34	0.34	0.34
10	4.30	22.68	0.19	-0.81	0.81
11	1.78	4.67	0.38	-0.62	0.62
12	4.10	9.72	0.42	-0.58	0.58
13	11.80	15.20	0.78	-0.22	0.22
14	5.00	3.74	1.34	0.34	0.34
15	19.40	26.70	0.73	-0.27	0.27
16	1.80	1.11	1.62	0.62	0.62
Suma			14.30		5.77

Promedio de Rc	0.96
Índice de Dispersión	0.38

Tabla 11. Método Racional Generalizado. Relación de Q (Rc) e Índice de dispersión (ID)

Finalmente se define el valor de los ajustes para los parámetros seleccionados de las expresiones empíricas del Método Racional y Método Racional Generalizado. Para obtener los valores de ajuste (Ca) de los parámetros, se graficaron los valores de las columnas **Rc vs. I** intensidad de la lluvia, y de la relación de Rc vs E.

A partir de valores de "Ca", se adoptaron los coeficientes de ajuste "Cc" de acuerdo a la siguiente Tabla 12.

Ruta	Método	Estación	Parámetro	Ca	Cc
Nacional N° 150	Racional	Baldes del Rosario	Intensidad (I)	0.08	1.08
Nacional N° 150	Racional	Usno	Intensidad (I)	0.1	0.90
Nacional N° 150	Racional Generalizado	---	Intensidad Rt	0.10	0.90
Nacional N° 150	Racional Generalizado	---	Escorrentía "E"	0.05	1.05

Tabla 12. Coeficientes de ajustes Cc adoptados.

Los nuevos valores de PR y del índice de dispersión ID utilizando los valores adoptados de Cc se muestran en las Tablas 13, 14, 15 y 16. En dichas tablas al aplicar estos ajustes a los parámetros elegidos, los valores de **PR** e **ID** se han reducido y ajustado a los valores recomendados, con una tendencia a la unidad para PR y a cero para la dispersión.

Alcantarilla	Caudal Teórico Q Estación "Baldes del Rosario"	Caudales Evacuados por el conducto Q	Intensidad lluvia (P/h)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 0
Nº	m3	m3	mm/h			
2	4.64	4.25	27.79	1.16	0.16	0.16
3	3.46	2.24	32.39	1.54	0.54	0.54
4	1.48	1.34	37.95	1.10	0.10	0.10
5	28.10	32.31	19.88	0.87	-0.13	0.13
6	46.76	32.80	17.71	1.43	0.43	0.43
7	1.33	1.40	78.09	0.95	-0.05	0.05
8	3.76	4.95	37.75	0.76	-0.24	0.24
9	13.38	10.50	26.52	1.27	0.27	0.27
10	17.54	22.68	21.23	0.77	-0.23	0.23
11	4.95	4.67	30.45	1.05	0.05	0.05
12	3.12	5.25	40.27	0.59	-0.41	0.41
13	11.63	15.20	26.59	0.76	-0.24	0.24
14	3.82	3.74	41.97	1.02	0.02	0.02
15	21.81	26.70	21.76	0.81	-0.19	0.19
16	1.26	1.11	46.89	1.14	0.14	0.14
Suma			16.24		3.21	

Promedio de Rc	1.02
Índice de Dispersión	0.21

Tabla 13. Método Racional. Ajuste de Intensidad de lluvia. Cc: 1,08

Alcantarilla	Caudal Teórico Q Estación "Usno"	Caudales Evacuados por el conducto Q	Intensidad lluvia (P/h)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 0
Nº	m3	m3	mm/h			
2	5.69	4.25	38.00	1.34	0.34	0.34
3	3.95	2.24	51.00	1.76	0.76	0.76
4	1.67	1.34	33.00	1.25	0.25	0.25
5	32.35	32.31	17.00	1.00	0.00	0.00
6	52.81	32.80	53.00	1.61	0.61	0.61
7	1.51	1.40	44.00	1.08	0.08	0.08
8	4.28	4.95	43.00	0.86	-0.14	0.14
9	15.48	10.50	44.00	1.47	0.47	0.47
10	19.83	22.68	9.95	0.87	-0.13	0.13
11	5.69	4.67	12.42	1.22	0.22	0.22
12	3.56	5.25	13.41	0.68	-0.32	0.32
13	13.01	15.20	25.66	0.86	-0.14	0.14
14	4.36	3.74	13.27	1.17	0.17	0.17
15	24.82	26.70	13.27	0.93	-0.07	0.07
16	1.45	1.11	13.27	1.31	0.31	0.31
Suma			17.41		4.00	

Promedio de Rc	1.16
Índice de Dispersión	0.27

Tabla 14. Método Racional. Ajuste de Intensidad de lluvia. Cc: 0,90

Alcantarilla	Caudal Teórico Q	Caudales Evacuados por el conducto Q	Intensidad lluvia (P/h)	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 0
Nº	m3	m3	mm/h			
2	4.46	4.25	49.82	1.05	0.05	0.05
3	3.75	2.24	59.00	1.67	0.67	0.67
4	1.52	1.34	75.34	1.43	0.43	0.43
5	19.84	32.31	34.37	0.61	-0.39	0.39
6	29.23	32.80	29.79	0.89	-0.11	0.11
7	0.74	1.40	111.35	0.53	-0.47	0.47
8	4.60	4.95	71.86	0.93	-0.07	0.07
9	13.62	10.50	51.67	1.30	0.30	0.30
10	3.66	22.68	42.24	0.16	-0.84	0.84
11	4.71	4.67	55.07	1.01	0.01	0.01
12	3.50	5.25	75.62	0.74	-0.26	0.26
13	10.13	15.20	47.48	0.67	-0.33	0.33
14	4.85	3.74	79.89	1.30	0.30	0.30
15	16.49	26.70	38.03	0.62	-0.38	0.38
16	1.74	1.11	92.57	1.57	0.57	0.57
Suma			14.47		5.18	

Promedio de Rc	0.96
Índice de Dispersión	0.35

Tabla 15. Método Racional Generalizado. Ajuste de Intensidad de lluvia. Cc: 0,90

Alcantarilla	Caudal Teórico Q	Caudales Evacuados por el conducto Q	Coefficiente de Escorrentía E	Relación de Caudales Rc	Rc - 1	Valor Absoluto Rc - 0
Nº	m3	m3				
2	4.60	4.25	0.46	1.08	0.08	0.08
3	3.90	2.24	0.49	1.74	0.74	0.74
4	1.80	1.34	0.54	1.34	0.34	0.34
5	23.50	32.31	0.38	0.73	-0.27	0.27
6	35.00	32.80	0.35	1.07	0.07	0.07
7	0.80	1.40	0.60	0.57	-0.43	0.43
8	4.80	4.95	0.53	0.97	-0.03	0.03
9	14.10	10.50	0.47	1.34	0.34	0.34
10	4.30	22.68	0.43	0.19	-0.81	0.81
11	1.78	4.67	0.48	0.38	-0.62	0.62
12	4.10	9.72	0.54	0.78	-0.22	0.22
13	11.80	15.20	0.45	0.78	-0.22	0.22
14	5.00	3.74	0.55	1.34	0.34	0.34
15	19.40	26.70	0.40	0.73	-0.27	0.27
16	1.80	1.11	0.53	1.44	0.44	0.44
Suma			14.48		5.22	

Promedio de Rc	0.97
Índice de Dispersión	0.35

Tabla 16. Método Racional Generalizado. Ajuste de Coeficiente de Escorrentía. Cc: 1,05

## CONCLUSIONES

Con los valores de los análisis de comparación caudales teóricos y caudales hidráulicos para este trabajo, se obtuvo un resumen de los valores de coeficientes de ajuste considerados como óptimos para calibrar los parámetros de intensidad de lluvia "I" que se sugieren adoptar, para aplicarlo en las fórmulas de los Método Racional, como así también la Intensidad de Lluvia  $R_t$  y el coeficiente de escorrentía "E" del método Racional Generalizado del Ing. F. Rhule (Tabla 17). Por los valores de PR e ID expuestos se considera importante sugerir que para la Ruta Nacional Nº 150, en el tramo considerado, se aplique el Método Racional corrigiendo los valores de la intensidad horaria por un coeficiente  $C_c = 1,08$  a todas las cuencas entre la progresiva 0.00 km y la progresiva 44.000 km.

Parámetro a calibrar	$C_c$	$P_r$	ID
Intensidad	1,08	1,02	0,21

Tabla 17. Coeficientes de ajuste sugeridos como óptimos para calibrar el parámetro de intensidad de lluvia "I" de la Ruta Nacional Nº 150.

Con las expresiones teóricas calibradas a nuestras condiciones climatológicas y de suelos se facilitará, entre otras aplicaciones, la adopción de medidas correctivas para las obras hidráulicas de aquellos sectores de rutas que recurrentemente sufren deterioros de importancia en las épocas estivales. Es importante destacar que mediante la evaluación propuesta por esta metodología se concluye que es de suma importancia el relevamiento de campo realizado, ya que permitió observar los aspectos de funcionamiento reales de las obras de arte seleccionadas, y que se deben ajustar los diseños de las obras a reparar en base a estos estudios hidrológicos teóricos para que los caudales de diseño sean evacuados por las obras sin sufrir los daños que afectan al tránsito y al usuario. Estos también generan importantes costos en las reparaciones del camino y de las alcantarillas dañadas.

En las fotografías 1 y 2 se muestran dos de las alcantarillas estudiadas.

Es de destacar que el procedimiento y aspectos metodológicos utilizados en este trabajo de investigación se transfieren a las clases del Curso "Diseño de Obras Especiales y Drenaje de Carreteras" en la asignatura "Hidrología y Drenaje" de la Carrera de Posgrado de Especialización en Ingeniería de Caminos de Montaña y de la Maestría de Ingeniería Vial de en la EICAM de la Facultad de Ingeniería, UNSJ.



Foto 1. Alcantarilla Progr. 6628.00. Vista aguas arriba



Foto 2. Alcantarilla Progr. 11377.00. Vista aguas arriba

## REFERENCIAS

RUHLE, F. *Determinación del Derrame Superficial de las Cuencas Imbríferas. Desarrollo del Método General Generalizado, año 1966. Cuencas Imbríferas, Publicado en la Revista "La Ingeniería" Nº 987 del Centro Argentino de Ingenieros*).

KUICHLING E. *Transactions, American Society of Civil Engineers, vol 20, New York 1889*).

# APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TRITURACIÓN/ FRACTURACIÓN (RUBBLIZING) PARA EL RECICLADO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA RUTA NAC. N° A-008 (CIRCUNVALACIÓN DE LA CIUDAD DE ROSARIO), PROVINCIA DE SANTA FE.

## AUTORES:

Ing. F. Gerbaudo, Ing. José M. Bucciarelli, Ing. Jorge Ramoneda, Ing. Raúl Yaryez

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la experiencia surgida de la utilización de la metodología de trituración/ fracturación por vibración resonante (rubblizing), para reciclar pavimentos rígidos en avanzado estado de deterioro. Esta práctica, inédita en el país, fue adoptada por Vialidad Nacional para rehabilitar la Autopista Urbana Ruta Nacional N° A-008 (Circunvalación de la Ciudad de Rosario), tramo comprendido entre el Río Paraná (Km 1,310) hasta la Av. Belgrano (Km 29,395) Provincia de Santa Fe. Con esta tecnología se tritura la losa de hormigón en trozos angulares intertrabados mediante el proceso de trituración- fracturación por medio de un rompedor resonante, que imprime a la losa una energía concentrada a una frecuencia entre 30 a 50 Hertz, y una amplitud de 1,0 a 2,5 centímetros que produce el fracturamiento. En esos rangos de trabajo la viga, que sostiene el martillo rompedor, vibra a frecuencias cercanas a la de resonancia del hormigón. Las ventajas ofrecidas por esta técnica consisten, entre otras, en el elevado rendimiento de ejecución diario lo que permitió ciclos diarios de triturado- repavimentación y liberación al tránsito, las características homogéneas de respuesta estructural de la capa resultante, superiores a los estabilizados granulares convencionales. Sobre la capa resultante se ejecutaron refuerzos de concreto asfáltico modificado en espesores variables según los perfiles tipo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los innumerables problemas que se presentan con las calzadas rígidas una vez que ha alcanzado la vida útil de diseño se ven agravados por el aumento exponencial de las solicitudes derivadas del tránsito de vehículos, sobre todo pesados. Los proyectos de rehabilitación de pavimentos rígidos han tratado históricamente de conservar condiciones seguras de transitabilidad direccionando las inversiones básicamente en reparaciones parciales de la calzada en el espesor de las capas inferiores que fuese necesario para alcanzar estratos firmes. En algún caso más crítico se ha adoptado la demolición total del pavimento rígido y la ejecución de una nueva estructura. Sin embargo en estos casos planteados no se reciclaron los restos productos de la demolición. En otras situaciones, también poco frecuente, se han demolido las losas de hormigón en trozos heterogéneos mediante métodos convencionales de demolición, logrando de alguna manera mediante un método de bajo rendimiento diario la ejecución una capa reciclada que se in-

corpora a la estructura del pavimento. Sin embargo, en estos casos la heterogeneidad de los trozos dificulta una respuesta estructural uniforme. La Dirección Nacional de Vialidad decidió implementar una tecnología inédita en el país que reuniera tres conceptos claves: la sustentabilidad ambiental reciclando una estructura rígida existente, el alto rendimiento diario y la materialización de una capa de respuesta estructural uniforme. Esta tecnología denominada Rubblizing se explicitará en los puntos del presente informe.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA RUBBLIZING

Como se ha mencionado, la tecnología "Rubblizing" consiste en la trituración y fracturación de las losas de hormigón existentes en todo su espesor, de manera de convertirlas en una capa granular de alta capacidad estructural, y de este modo crear una nueva plataforma sobre la cual construir directamente las capas asfálticas de refuerzo.

Se utiliza un equipo demolidor resonante (*Resonant Pavement Breaker*) que fractura las losas de hormigón en trozos angulares, intertrabados empleando una carga dinámica concentrada de baja amplitud y alta frecuencia. Seguidamente se procede a la compactación del material resultante con rodillos vibratorio de 10 tn.

A partir de esta técnica, se convierte al pavimento rígido existente altamente deteriorado (según el relevamiento de fallas efectuado), en una base granular de alto módulo con características homogéneas en todo su espesor, que permite uniformizar toda la superficie de pavimento rígido a repavimentar. Sobre esta capa fracturada y de alta calidad, se coloca mezcla asfáltica, convirtiendo al pavimento en una estructura homogénea flexible, y en consecuencia eliminando todo potencial reflejo de grietas y juntas.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La obra contratada por la Dirección Nacional de Vialidad ubicada en la RN N° A008, se extiende desde el Río Paraná (Km 1,310) hasta la Av. Belgrano (Km 29,395) Ciudad de Rosario, Prov. de Santa Fe. Fue licitada por la DNV el 01/08/08, adjudicada a la UTE BENITO ROGGIO E HIJOS S.A.- ROVELLA CARRANZA S.A. el 19/12/08, y tiene fecha de replanteo el día 25/02/09.

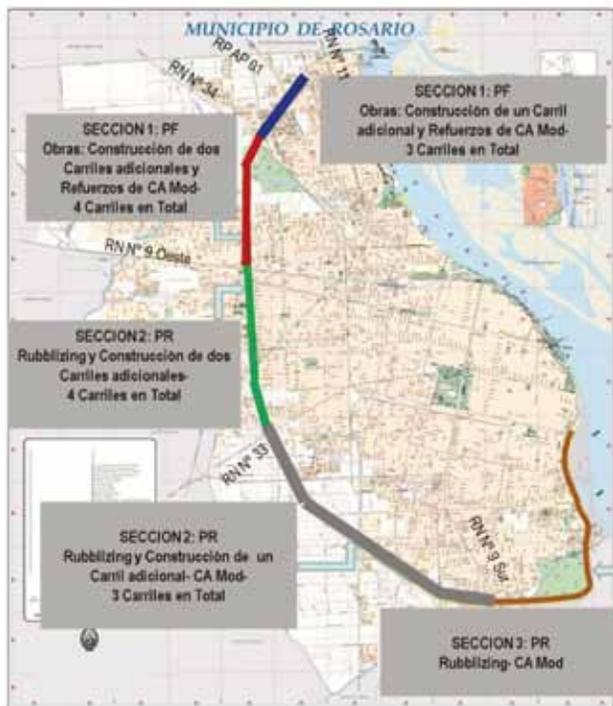


Figura 1. Ubicación geográfica de la Obra y delimitación de las obras proyectadas

Los trabajos consisten en la rehabilitación y ampliación de la calzada principal con la construcción de uno y dos carriles practicados en algunos sectores, efectuando un ensanche del lado interno o externo en función de la geometría de la calzada existente y de las modificaciones geométricas surgidas del proyecto. Los trabajos comprenden entre otras tareas:

- La construcción de dos carriles adicionales desde el empalme con la Ruta Nacional N° 34 y Emp. Ruta Nacional N° 33, parte de este ensanche se realiza sobre pavimento rígido y flexible.
- Construcción de un carril adicional entre el Emp. Ruta Nacional N° 33 y Ruta Nacional N° 9 Sur y entre el Km. 1,310 y la RN N° 34.
- Alteo de la rasante de las calzadas existentes llevando la misma 1,50 m por encima de la rasante actual entre las progresivas 12+800 y 13+600.
- Reparación de los pavimentos flexibles.

- Adecuación y construcción de ramas de salida y accesos de los intercambiadores que se modifiquen
- Refuerzos de la estructuras de los pavimentos existentes mediante concreto asfáltico en caliente empleando asfaltos modificados con polímeros.
- Construcción de un sub-drenaje longitudinal en la banquina externa en el sector de pavimento rígido existente hasta el intercambiador correspondiente al empalme con la autopista Rosario-Bs. As.
- Mantenimiento e intervenciones de seguridad.
- Construcción de ocho puentes nuevos.
- Ampliación de diecinueve puentes.
- Construcción de cinco puentes peatonales.

#### 3.1. ESTRUCTURA VIAL

La traza de la obra puede dividirse en tres secciones, la primera corresponde al pavimento flexible existente, desde la progresiva 1,310 hasta la progresiva 7,933 (S I). La segunda sección se extiende desde la progresiva 7,933 hasta la progresiva 19,300 (S II). Por último desde la progresiva 19,300 hasta la progresiva 29,395 se desarrolla la sección tres (S III).

En la S I se realizan tareas sobre el pavimento flexible existente, en la cual se ejecutó un ensanche interno y externo según proyecto, materializando así los carriles adicionales.

En la S II compuesta por pavimento rígido existente, se demolió el mismo mediante la tecnología Rubblizing, también se consideran ensanches internos y externos, para luego ejecutar las capas asfálticas proyectadas según los distintos perfiles estructurales tipo.

La S III, conformada por un pavimento rígido existente, se demolió por la tecnología Rubblizing aunque no lleva ensanches, conformando el paquete estructural con bases y carpeta de rodamiento asfáltica.

El total de superficie destinada al proceso de rubblizing es de 193.350m<sup>2</sup> aproximadamente.

Para la definición de la estructura vial y la tecnología constructiva la Contratista recibió el asesoramiento técnico de parte de la Consultora ING. TOSTICARELLI Y ASOC. S.A.

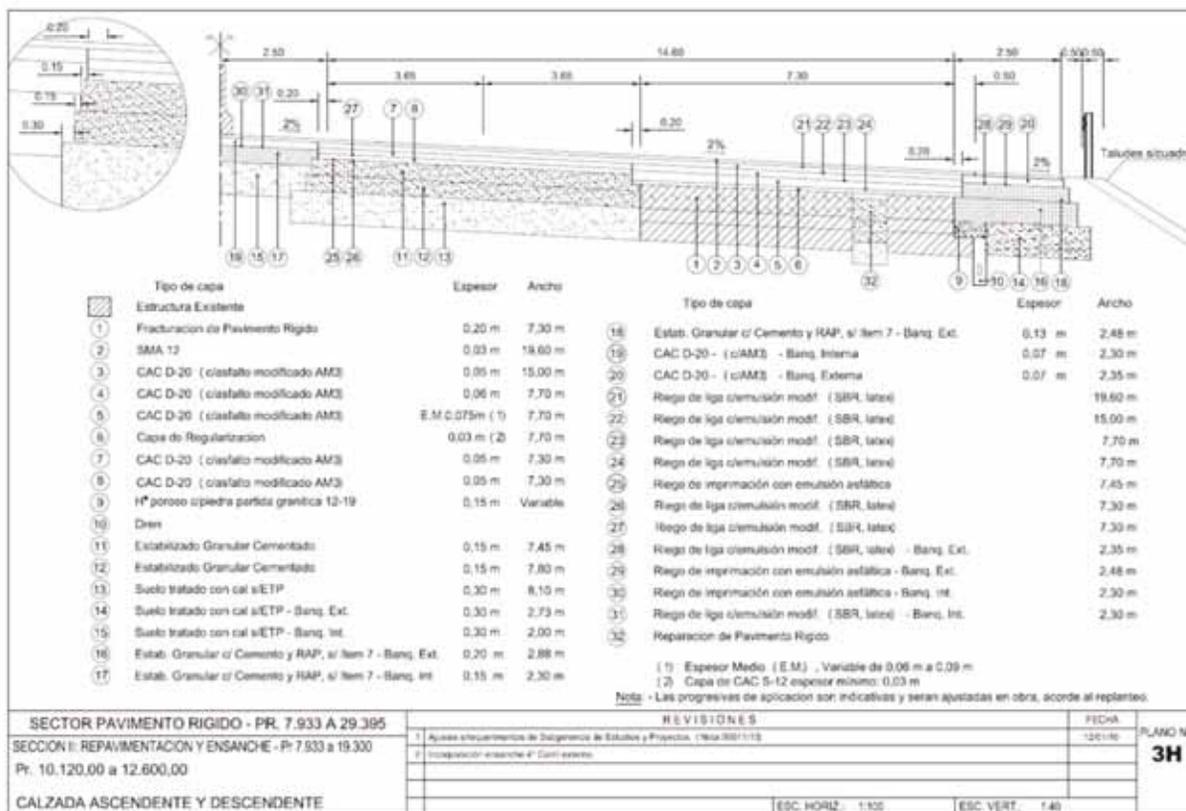


Figura 2. Ejemplo de uno de los Perfiles estructural tipo Sección II

## 4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA ADOPTADA

### 4.1. AUSCULTACIÓN DE LA CALZADA EXISTENTE

Al momento del inicio de la obra se llevó a cabo una campaña geotécnica de ensayos no destructivos destinada a caracterizar geomecánicamente las capas que forman parte de la estructura vial existente. A tal fin sobre los tramos SII y SIII se realizaron:

- Medición de rugosidad.
- Relevamiento de los deterioros superficiales.
- Calados de testigos.
- D.C.P.: Penetrómetro dinámico de cono.
- Medición de deflexiones: mediante un Deflectómetro de Impacto (FWD).

En la tabla inferior se observan algunos resultados de rugosidad:

VALORES MEDIOS DE RUGOSIDAD							
CALZADA DESCENDENTE				CALZADA ASCENDENTE			
CARRIL EXTERNO		CARRIL INTERNO		CARRIL INTERNO		CARRIL EXTERNO	
I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)	I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)	I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)	I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)
4,65	3,19	4,54	3,10	4,54	3,11	4,83	3,31

Tabla I: Valores promedio de Rugosidad Sección II

VALORES MEDIOS DE RUGOSIDAD							
CALZADA DESCENDENTE				CALZADA ASCENDENTE			
CARRIL EXTERNO		CARRIL INTERNO		CARRIL INTERNO		CARRIL EXTERNO	
I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)	I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)	I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)	I.R.I. (m/km)	B.P.R. (m/km)
4,65	3,19	4,54	3,10	4,54	3,11	4,83	3,31

Tabla II: Valores promedio de Rugosidad Sección III

Particularmente, en esta sección se distinguieron, las siguientes fallas:

- 1) Fisuración Longitudinal
- 2) Fisuración Transversal
- 3) Rotura de esquina
- 4) Fragmentación en bloque
- 5) Roturas y hundimientos localizados
- 6) Rotura de Junta Transversal
- 7) Junta Longitudinal abierta
- 8) Bombeo
- 9) Escalonamiento
- 10) Reparación con Hormigón
- 11) Reparación con concreto asfáltico

A partir de los calados y valoraciones estructurales se adoptó el siguiente modelo estructural:



Figura 3: Modelo estructural adoptado

#### 4.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN VIAL ADOPTADA

Tras exhaustivos relevamientos y análisis del comportamiento de la calzada de hormigón existente (sección comprendida entre progresiva 7,933 y progresiva 29,395), se observó que el estado de la calzada al momento del inicio de la obra presentaba un avanzado deterioro superficial que se manifestaba en gran variedad de fallas, mencionadas en el punto anterior. A partir de la situación existente de la calzada, surgían problemas de índole constructiva:

- Bacheos profundos en losas laterales, adyacentes a la banquina provocan debilitamiento de la subrasante por pérdida de contención lateral. Este fenómeno ocasiona la pérdida de capacidad portante de los suelos que forman parte del apoyo de la losa.
- Insuficiente transferencia de cargas entre losas adyacentes.
- Losas solicitadas en exceso por sobrecargas dinámicas y estáticas no reglamentadas, efectos concentrados en épocas de cosecha.
- Problemas constructivos derivados de los desvíos y cortes de tránsito con un TMDA superior a 40000v/d en algunas secciones, más aun considerando tiempos de fragüe mínimos de 7 días para la reparación de losas. Los desvíos y cortes de tránsito conllevan a escenarios de peligrosidad para los usuarios de la calzada.

Ante las situaciones expuestas surgió la tecnología Rubblizing como una solución óptima y particularmente propicia para el complejo escenario en donde se sitúa la obra. Las ventajas de tal metodología, que está siendo aplicada actualmente con buenos resultados, radican:

- La fracturación de las losas en trozos angulares intertrabados convierte el pavimento rígido en una base granular de alto módulo, con características uniformes tanto en espesor como de respuestas estructurales.
- Se simplifican las reparaciones previas de la losa.
- Se minimizan sustancialmente los tiempos de cortes y desvíos debido al rendimiento elevado del equipo, lo que permite un avance diario y en serie de la pavimentación con el rubblizing, habilitando el tránsito conforme el avance diario. Esta metodología redundante en una reducción de los costos de operación de los usuarios, y la disminución de los tiempos de permanencia de las cajas para las reparaciones abiertas sobre la calzada, atenuando así notoriamente los riesgos de accidentes.
- Se facilitan las tareas de reparaciones posteriores, porque ante eventuales fallas se implementarían intervenciones propias de pavimentos flexibles.
- Se facilitan los trabajos para futuras ampliaciones de carriles.
- La metodología aplica una carga dinámica que solo afecta a la calzada de hormigón sin poner en riesgo las estructuras adyacentes de diversos materiales.
- Sustentabilidad ambiental, porque recicla y optimiza los recursos materiales existentes.
- Se logra una capa permeable de apoyo para las mezclas asfálticas superiores.

A partir de lo mencionado comenzó a analizarse la aplicación de la tecnología rubblizing. Para caracterizar la capa granular resultante de la losa fracturada a través de esta tecnología (Rubblizing), se siguieron los lineamientos de la guía AASHTO (2) que sugiere valores entre 0,06 y 0,11 1/cm, función del tamaño de los trozos que quedan luego de la trituración / fracturación. Por otro lado, resultados de estudios llevados a cabo por la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile y el Centro de Ingeniería e Investigación Vial, DICTUC S.A., basados en el espesor de la losa y la capacidad soporte de la subrasante, permiten recomendar un rango entre 0,098 y 0,11 1/cm (1).

Se adoptó para este material en la etapa de proyecto:  $a_{RUBB} = 0,098 \text{ 1/cm}$ , para el cual, aplicando la ecuación de Witczak, correspondería un módulo de elasticidad  $E = 1200 \text{ MPa}$ , el que a manera de comparación, podría asimilarse a un estabilizado granular con elevada cementación.



Figura 4. Perfil estructural proyectado

## 5. EQUIPOS

El equipo que está siendo utilizado para fracturar el pavimento consiste en una unidad autopropulsada que contiene una viga de acero, fijada en dos puntos en forma de rótula al chasis del equipo. En el extremo interior de la viga tiene adosado un motor con masas excéntricas que a alta frecuencia induce vibración a la viga. En el otro extremo de la viga se apoya un martillo que transmite carga y vibración al pavimento de hormigón a una frecuencia entre 30 a 50 Hertz, y una amplitud de 1,0 a 2,5 centímetros. En los rangos de trabajo la viga vibra a frecuencias cercanas a la de resonancia del hormigón, transmitiendo a la losa una gran cantidad de energía concentrada que produce un fracturamiento instantáneo, de manera que el producto final resulta ser una capa granular de alta capacidad estructural sin alterar las condiciones de la base y subrasante existente. Para valorar esta condición se ejecuto inicialmente un tramo experimental con apertura de calicata, pudiendo comprobar los resultados expuestos. Complementando el equipo principal se utiliza:

- Rodillo liso vibrante de 15tn.
- Equipo menor para tareas auxiliares.

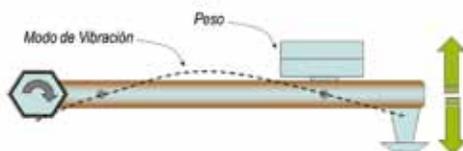


Figura 6. Equipo de Rubblizing

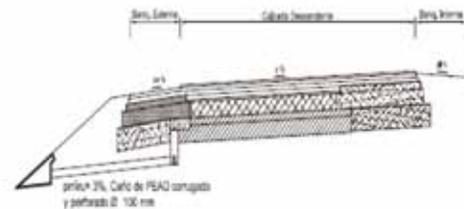
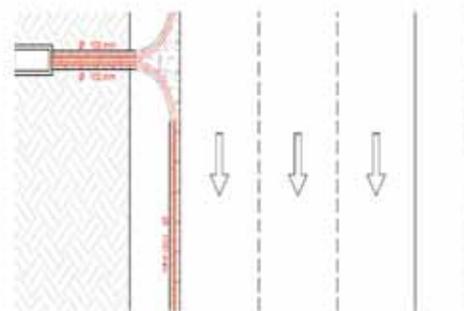
## 6. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

### 6.1 TAREAS PREVIAS AL PROCESO DE TRITURADO DEL PAVIMENTO

Las tareas previas al proceso de rubblizing comenzaron en el mes de Junio del 2010, consisten básicamente en sanear aquellas losas que evidencien poco soporte o que presenten fallas que puedan asociarse a un colapso de la subrasante. A tal fin se propuso una capa estructural que presente características geomecánicas similares a las del rubblizing. Las reparaciones se realizan con dos capas de 0,20m de estabilizado granular tratado con cemento ( $25\text{kg/cm}^2 < R_c < 35\text{kg/cm}^2$ ) y 5cm de asfalto CAC D-20 con AM3. Los bacheos asfálticos de espesor total que se encuentran en buenas condiciones estructurales no son retirados.

Las juntas entre hormigón de calzada y las estructuras que no son demolidas, se desvinculan en todo su espesor. Para ello se procede al aserrado en todo el espesor de la losa, incluyendo las armaduras.

Los sistemas de subdrenajes fueron ejecutados antes de comenzar las tareas de *rubblizing*.



SUB DREN INTERNO - SECTORES EN CURVA



Figura 7. Ejecución de subdrenaje

6.2. PROCESO DE TRITURADO Y RENDIMIENTO

Antes de comenzar los trabajos la Contratista realizó un tramo de prueba variando la energía de compactación, hasta lograr la fracturación en el espesor total de las losas, procurando bloques de menos de 15cm de diámetro.

El rendimiento del proceso de rubblizing está determinado por la longitud de los desvíos, pero si se tienen en cuenta los m2 diarios destinados a trabajos sobre calzada principal varían en el rango de 2800m2- 4200m2, pudiendo ser aún muy superior. Cada pasada de la viga resonante cubre un ancho de entre 20 y 25 centímetros a una velocidad de 3 a 10km/h. Se pasa en sentido longitudinal hasta completar el ancho de la trocha. El triturado se realiza siempre entre juntas longitudinales y transversales.

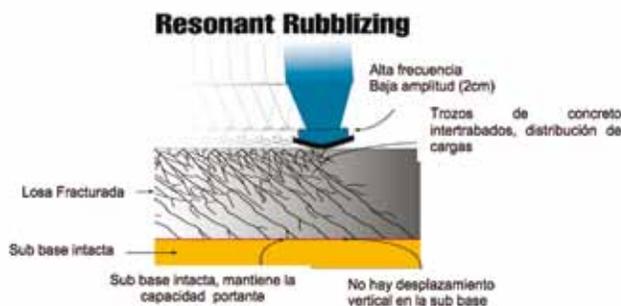


Figura 8. Patrón de fractura del hormigón triturado



Figura 9. Vista de losa triturada

El proceso de pulverizado comienza en un borde libre de la losa de hormigón; entendiéndose como tal a la zona contigua a la banquina existente o una faja de material previamente fracturado. El proceso es secuencial, es decir, una vez que se ha pulverizado una faja, se pulveriza la faja paralela adyacente, hasta completar el ancho total del carril.

La superficie sobre la cual se apoyan y ruedan los neumáticos del equipo de demolición se encuentra nivelada y con resistencia suficiente como para permitir un avance y estabilidad del equipo homogéneos. Cuando las armaduras de las losas quedan expuestas, se proceden a cortar las partes emergentes, como así también a retirar los restos de asfalto proveniente del sellado. En los casos que tras la ejecución de la fracturación de las losas, se verifica la consolidación de la capa y/o depresiones superiores a 2,5cm, las mismas son rellenadas con mezcla asfáltica.

6.3. RODILLADO DE LA CAPA DE HORMIGÓN FRACTURADO

Esta tarea se realiza inmediatamente al término de la operación de triturado. El planchado o rodillado consiste en efectuar al menos 3 pasadas sobre el material resultante del proceso de fracturación, con un rodillo liso vibratorio tándem, a baja amplitud y alta frecuencia. En el caso particular de la obra, se verificó que realizando tres pasadas con un rodillo tándem liso de 15tn Dynapac se lograba la máxima recompactación. La velocidad del rodillo es aprox. de 6,5 km/h (1,8 m/seg). Las maniobras del rodillo son lentas tratando de evitar giros, aceleraciones y frenados bruscos.



Figura 10. Ejecución de compactación

6.4. COLOCACIÓN DE LA CAPA DE REGULARIZACIÓN

Seguidamente de finalizado el aplanado, se coloca la capa asfáltica de regularización. En este caso los camiones que transportan la mezcla ingresan a la zona de triturado mediante maniobras largas y lentas, procurando no desplazar parte del granular resultante.

El tiempo máximo que puede transcurrir entre el proceso de rubblizing y la colocación de la capa asfáltica es de 48 horas, salvo que el pronóstico del tiempo anticipe una lluvia. Se tienen en cuenta también las siguientes consideraciones:

- a- No se requiere de la colocación de imprimación entre la capa fracturada y la primera capa de mezcla asfáltica en caliente.
- b- Cuando se asfalte en pendientes tales que puedan ocasionar el patinamiento de la terminadora, la operación se hará pendiente abajo.



Figura 11. Colocación de capa de regularización

## 6.5. LIBRADO AL TRÁNSITO

El librado al tránsito se realiza una vez colocada la capa asfáltica correspondiente que la proteja de las acciones del tránsito, evitando así el desacomodamiento de la estructura granular de bloques intertrabados.

## 7. METODOLOGÍA DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

### 7.1. TRAMO EXPERIMENTAL

La evaluación geotécnica estructural de la capa resultante es de suma importancia para verificar el comportamiento in situ de la losa reciclada. A tal fin se está llevando a cabo una campaña investigativa mediante ensayos no destructivos empleando el FWD (Falling Weight Deflectometer) y plato de carga. Hasta el momento se tiene completado parcialmente el tramo experimental.

La misma consiste en ubicar dos tramos experimentales en ambas calzadas de 1000m cada uno, seleccionados en base a las pocas intervenciones sobre las losas. Una vez georeferenciados, se practican en los puntos relevados calados en losa y sub base para verificar resistencia a la compresión simple de la segunda capa, en la medida que se pueda extraer el testigo. Una vez calada la sub base se realiza el ensayo D.C.P. en la subrasante hasta una profundidad de 0,80m. Sobre estos sectores auscultados y georeferenciados se realizan mediciones deflectométricas de impacto cada 20m – 25m de distancia, tanto sobre la capa triturada como de cada una de las cuatro capas asfálticas que forman parte de la estructura final. También está previsto realizar el ensayo deflectométrico de la estructura, una vez que se complete en su totalidad, al sexto mes en operación.

Adicional a los estudios planteados está previsto la ejecución de ensayos plato de carga sobre el tramo experimental, basados en la Norma Española NLT357/98. Se realizan con plato de 30mm dos ciclos de carga y uno de descarga, obteniendo valores de Módulo Volumétrico Ev1 (Módulo Volumétrico para

el primer ciclo de carga) y Ev2 Módulo Volumétrico para el segundo ciclo de carga).

### 7.1. MEDICIONES EN EL RESTO DEL TRAMO

En el resto de los tramos se están realizando ensayos Plato de Carga, de manera tal de registrar el comportamiento mecánico de la capa resultante.

## 8. CONCLUSIONES

Si bien la Tecnología utilizada en esta obra ya fue aplicada en múltiples ocasiones en otras partes del mundo, la misma constituyó un gran desafío para Vialidad Nacional, al aplicarla en el país, materializando una primera experiencia concreta en una arteria urbana de suma importancia a nivel regional como lo es la Ruta Nacional Nº A-008.

La aplicación de la tecnología rubblizing hasta el momento está demostrando buenos resultados, sobretodo por la velocidad y el rendimiento diario que impone esta tecnología. El tándem rendimiento diario- librado diario al tránsito disminuyó en un gran porcentaje los accidentes provocados por desvíos temporales, sobretodo en horarios nocturnos.

En cuanto a las características geomecánicas de la estructura resultante, en la Sección II se ha observado a la fecha buena respuesta en la etapa de operación, más aún teniendo en cuenta que restan colocar capas asfálticas. No se han verificado baches posteriores durante esta etapa.

No se observaron corrimientos o deformaciones de la capa asfáltica de regularización que se encuentra inmediatamente superior del rubblizing, aun cuando no existe imprimación entre las mismas.

La capa de rubblizing presenta una superficie regular con trozos intertrabados de gran superficie específica de contacto, que aumentan de tamaño con la profundidad, según calicatas realizadas in situ. Los sistemas de subdrenajes aplicados antes del proceso permitieron sanear los terraplenes mas afectados por la saturación de la subrasante.

## 9. INFORMACIÓN Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

- (1) *Rehabilitación de pavimentos de hormigón empleando la técnica de trituración/ fracturación (rubblizing). Evaluación de la capacidad estructural. Thenoux G, Gonzalez M. 2009. Revista Materiales de Construcción. Volumen 59, 293, 7-19.*
- (2) *ASSTHO: Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and transportation Officials, Washinton D.C., Estados Unidos (1993).*
- (3) *“Aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono en Obras Viales y Controles de Compactación”, Angelone, Martínez, Tosticarelli. Laboratorio IMAE. UNR. Octubre de 1994.*
- (4) *Geotechnical Aspects of Pavements. U.S. Department of Transportation Publication No.FHWA NHI-05-037. Federal Highway Administration (2006).*

Avanzar

Conectar

Prosperar

Iluminar



Martínez y de la Fuente S.A.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Balcarce 216 | 2º piso | Bs. As. | Argentina  
Tel./Fax: [54-11] 4343-0907 L.R.

Florencio Varela  
Av. San Martín 2069 | Bs. As. | Argentina  
Tel./Fax: [54-11] 4255-0110 L.R.

[www.myfsa.com.ar](http://www.myfsa.com.ar)



**Seguimos construyendo calidad**

**Homaq**  
EMPRESA CONSTRUCTORA



Av. del Libertador 5936, piso 13 (C1428ARP) Buenos Aires, Argentina Tel./Fax: 4781-6749 E-mail: [info@homaq.com.ar](mailto:info@homaq.com.ar)

Una empresa del Grupo **HOLDEC**



**NUEVA Tecnología**

**GRADO INGENIERIA PRISMATICO PEG**

- Excede las especificaciones de la tecnología Grado Ingeniería.
- Posee Sello IRAM 10033.
- Garantía 10 años.

**ALTA INTENSIDAD PRISMATICO HIP**

- Alta performance visual.
- Posee Sello IRAM de conformidad con la norma ASTM D4956 Tipo IV.
- Garantía 10 años.

**OMNICUBE Cubo Completo**

- Microprismas omnidireccionales.
- Posee Sello IRAM de conformidad con la norma ASTM D4956 Tipo XI.
- Garantía 12 años.

Distribuidor Autorizado  
Señalar SRL

Tel. 0341 457 457 7 - 456 4343  
carteles@senalar.com.ar  
Brasil 151 - Rosario

**senalar.com.ar**

Sello IRAM - Poseen marca de agua - Omnidireccionalidad - Procedencia USA - **ENTREGA INMEDIATA**



# CLEANOSOL ARGENTINA

*desde 1966 Haciendo Caminos más Seguros*



**DEMARCAACION HORIZONTAL**

- SPRAY / LINEA VIBRANTE
- LINEA PARA LLUVIA
- B.O.S. / PREFORMADOS
- PINTURA EN FRIJO
- TACHAS REFLECTIVAS

**SEÑALIZACION VERTICAL**

- FABRICANTE HOMOLOGADO
- DE SEÑALES **KM**

**CONSERVACION VIAL**

- MICROAGLOMERADO EN FRIJO
- MATERIAL PARA BACHEO EN FRIJO
- BOX BEAM / FLEX BEAM
- TRAVESIAS URBANAS
- AMORTIGUADORES DE IMPACTO
- TERMINALES ABC
- DELINEADORES DELETABLES

# CARTILLA DE ASFALTOS PARA USO VIAL #1

## PRODUCTOS ASFÁLTICOS EN ARGENTINA

En el mercado argentino se producen y comercializan una variada y completa línea de materiales asfálticos, obtenidos a partir de crudos y procesos productivos específicamente seleccionados, con el fin de asegurar los estándares de calidad requeridos en la construcción vial y civil.

Las especificaciones y recomendaciones de uso de las líneas de productos asfálticos son normalizadas por las comisiones técnicas dedicadas a Asfaltos del Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRAM. Estas normas son utilizadas en los pliegos técnicos de obra confeccionados por comisiones técnicas de instituciones viales especializadas competentes.

Adicionalmente, la industria proveedora de asfaltos viene proponiendo una serie nuevos materiales que aún no han sido normalizados en línea con las últimas innovaciones del ámbito vial, para responder a las exigencias medioambientales y mejorar el desempeño de los pavimentos (\*).

## LÍNEAS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS NORMALIZADOS

Las líneas de productos asfálticos normalizados por IRAM incluyen:

Tipo de producto	Grados	Norma IRAM
Asfaltos convencionales para uso vial por penetración	40-50; 50-60 ; 70-100 ; 150-200;/ 200-300	6604
Asfaltos convencionales para uso vial por viscosidad	CA 5; CA 10; CA 20; CA 30; CA 40	6835
Asfaltos modificados para uso vial	AM1; AM2; AM3; AM4	6596
Emulsiones asfálticas catiónicas convencionales	Rotura Rápida:CRR0; CRR1; CRR2 Rotura Media CRM1; CRM2 Rotura lenta: CRL Rotura superestable: CRS Rotura controlada: CRC Imprimación: CI Reciclado en frío: CRF	6691
Emulsiones asfálticas catiónicas modificadas	Rotura rápida:CRR0m; CRR1m; CRR2m Rotura media:CRMm Rotura lenta: CRLm Rotura controlada: CRCm	6698
Selladores asfálticos para juntas, fisuras y grietas en pavimentos	SA 20; SA 30; SA40; SA 50; SA 60	6838
Asfalto con inclusión de caucho reciclado por vía húmeda para uso vial	AC1; AC2	6673

(\*) Algunos de los productos no normalizados y de uso satisfactorio son:

- Asfaltos resistentes a los combustibles
- Asfaltos multigrados
- Asfaltos “tibios”
- Asfaltos sintéticos coloreados
- Selladores asfálticos con caucho
- Emulsiones de alta imprimación

En próximas entregas, se detallarán las recomendaciones de uso de los productos descriptos.

# SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN MEDIANA. DISPOSICIÓN MÁS SEGURA.

## AUTORES:

Sergio Panadero Calvo, Director de la Obra Autovía A-40, Tramo: Villarrubia de Santiago-Santa Cruz de la Zarza. Ministerio de Fomento.

Pablo Pérez De Villar Cruz, Jefe del Servicio de Seguridad Vial de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento

## RESUMEN

La siniestralidad por salida izquierda de vía en carreteras de gran capacidad es un problema que, además de las dramáticas situaciones a las que da lugar, inflige a la sociedad elevados costos. Por ello, debe prestarse una intensa atención al diseño de las medianas y a la disposición de barreras en ellas, con el objetivo de evitar que se produzcan este tipo de accidentes y limitar las consecuencias de los que aún así tengan lugar.

Habitualmente las medianas de autovías se diseñan aplicando casi sistemáticamente los parámetros mínimos exigidos normativamente y generalmente con barreras de seguridad adosadas o muy próximas a uno de los arcones interiores. Sin embargo, tanto las recomendaciones técnicas nacionales como la bibliografía internacional recomiendan llevar a cabo un estudio económico de alternativas antes que colocar barreras y, si está justificada su disposición, alejarla de la calzada disponiéndola próxima al eje de la mediana.

En este artículo se analizan las ventajas y limitaciones que tiene la disposición de barrera próxima al eje de la mediana y se muestra cómo se ha instalado en la obra de la autovía A-40, Tramo: Villarrubia de Santiago-Santa Cruz de la Zarza, destacando los aspectos más novedosos y llamativos pero que se ajustan a las mejores prácticas en la materia y también a la normativa de aplicación.

La mejora de la seguridad vial lleva tiempo siendo un objetivo prioritario para muchos países. Cada año, fallecen en el mundo 1,3 millones de personas por siniestros de tráfico, siendo ésta una de las tres primeras causas de muerte para la población mundial de entre 5 y 44 años<sup>(i)</sup>. Sólo en la Unión Europea, se producen anualmente alrededor de 1,1 millones de accidentes<sup>(ii)</sup>, en los que mueren más de 30.000 personas<sup>(iii)</sup>. En España, en 2011, más de 83.000 personas fueron víctimas de siniestros de tráfico, 2.060 de ellas mortales.

Al sufrimiento que los accidentes infligen a la sociedad, hay que sumarle los costos que acarrearán, tanto en recursos humanos y materiales para atender sus consecuencias, como en pérdidas de productividad. De nuevo, sólo en la Unión Europea se estima que estos costos socioeconómicos suponen aproximadamente 130 billones de Euros<sup>(iv)</sup>, representando aproximadamente el 3% del PIB<sup>(v)</sup>. Los estudios encargados oficialmente al respecto en España cifran como valores estadísticos de prevenir una víctima mortal<sup>(vi)</sup>, un herido grave y un herido leve<sup>(vi)</sup> en 1.400.000, 219.000 y 6.100 respectivamente, de lo que se deduce que el costo social de los accidentes en España representa como mínimo el 0,56 % del PIB, aunque es muy razonable que sea el 1,04%<sup>(vii)</sup>.

Todo esto justifica la necesidad de estudiar de una forma rigurosa la manera de incidir sobre los aspectos que intervienen en la accidentalidad para evitar que se produzcan siniestros o para reducir sus consecuencias, siendo uno de ellos la infraestructura. En este sentido, debe tenerse en cuenta que la tipología más frecuente de accidentalidad mortal en carretera es la salida de vía<sup>(a)</sup>, la cual sistemáticamente provoca cerca del 40% de los fallecidos que se producen en España por siniestros de tráfico. De entre las salidas de vía, destacan las que se producen en carreteras de gran capacidad por las medianas, pues cuando el vehículo que se sale de la vía llega a invadir la calzada del sentido contrario, la gravedad del siniestro suele ser muy significativa, generalmente con fallecidos, debido a la elevada velocidad relativa entre los vehículos que impactan. Estas situaciones suelen ser especialmente dramáticas ya que generalmente el vehículo que no se sale de la vía circula adecuadamente, incluso respetando las buenas prácticas de conducción, pero no tiene posibilidad de evitar el accidente, resultando damnificadas personas, e incluso familias enteras, sin responsabilidad alguna en el suceso.

(a) Si bien es cierto que las tipologías de accidentes se agrupan sólo en 7 categorías.

(b) Según definición del Reglamento General de Carreteras aprobado por el Real Decreto 1812/1994, de 2 de septiembre.

Específicamente, en la Red de Carreteras del Estado, en el período comprendido entre 2008 y 2012, se produjeron alrededor de 23.800 accidentes con víctimas por salida de vía, de los cuales, aproximadamente 6.650 tuvieron lugar por la mediana. Estos últimos accidentes han dado como resultado 329 fallecidos, 1.346 heridos graves y cerca de otros 8.300 lesionados. Teniendo en cuenta esta realidad, desde el punto de vista técnico debe prestarse una intensa atención al diseño de las medianas y su equipamiento, y especialmente a la disposición de barreras en ellas, con el objetivo de evitar que se produzcan este tipo de accidentes y limitar las consecuencias de los que aún así tengan lugar.

### BUENAS PRÁCTICAS EN EL DISEÑO Y EQUIPAMIENTO DE MEDIANAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS SALIDAS DE VÍA

La mediana se define reglamentariamente como la franja longitudinal situada entre dos plataformas separadas, no destinada a la circulación<sup>(b)</sup> y su función principal es independizar el tráfico de uno y otro sentido con el objeto de evitar que se produzcan choques frontales. Idealmente (desde el punto de vista de la seguridad vial), las medianas deberían ser tan anchas y tan llanas para permitir que un vehículo que se saliera del arcén interior no perdiera el control de la dirección y pudiera reconducir su trayectoria, o pararse, sin impactar con ningún obstáculo quedando siempre alejado de la calzada del sentido contrario. Con esta situación ideal, no sería necesario disponer barrera de seguridad.

Sin embargo, por motivos económicos y medioambientales, debe llegarse a una solución de compromiso que conjugue todos los factores en favor del interés general, que teóricamente equivale a maximizar el beneficio social neto<sup>(viii)</sup>. En esta línea, la Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras, del Ministerio de Fomento, recoge que:

*“las características de la mediana se fijarán a partir del preceptivo estudio técnico-económico en el que se tendrán en cuenta el radio en planta, la visibilidad de parada (considerando los sistemas de contención de vehículos) y la necesidad de incrementar el número de carriles, en su caso, así como cualquier otra consideración que pueda intervenir en dicho estudio (apoyos de estructuras y de señalización, excavaciones y rellenos, drenaje, iluminación, coste de expropiaciones, etc).”*

No obstante, sistemáticamente se proyectan medianas de 10 metros de ancho (que es el mínimo establecido para velocidades de proyecto de 100 ó 120 km/h cuando se prevé ampliación del número de carriles a expensas de la mediana), muchas veces con taludes en el interior de mediana superiores a 5H:1V, y presentando 1 m de arcén interior con barreras de seguridad prácticamente adosadas a uno o ambos arcones interiores.

A este respecto, debe advertirse que aunque teóricamente las barreras de seguridad están diseñadas para tratar de redireccionar los vehículos tras el choque sin que estos invadan de nuevo la calzada y sin dañar significativamente al vehículo (y menos aún a las personas), la realidad es que los sistemas de contención perfectos no existen. De hecho, la normativa sólo les exige un cierto grado de protección en unas condiciones concretas de choque ensayadas fuera del viario público.

Un metanálisis llevado a cabo al respecto<sup>(ix)</sup> concluyó que la instalación de barreras en mediana reduce la severidad de los accidentes por salida izquierda de vía en carreteras de gran capacidad pero aumentando significativamente la probabilidad de ocurrencia de este tipo de siniestros (en alrededor de un 30%). Sin embargo, los estudios que presentan resultados de eficacia de barreras generalmente no concretan la disposición geométrica evaluada. De hecho, hasta la fecha son muy pocos los estudios científicos sobre la variación de los índices de accidentalidad específicamente en función de la ubicación de los sistemas de contención dentro de la mediana.

No obstante, algunos de los más recientes<sup>(x)</sup> confirman que aumentar la separación entre la barrera de mediana y la calzada disminuye la frecuencia de accidentes contra este tipo de dispositivos y también la severidad de los mismos<sup>(xi)</sup>. De hecho, extrapolando los resultados obtenidos para ciertas configuraciones de localización de obstáculos en márgenes de carreteras convencionales<sup>(xii)</sup>, puede deducirse que disponer la barrera a más de 5 metros en vez de adosarla al arcén llega a reducir tanto la frecuencia de los accidentes como la severidad de los mismos alrededor de un 70%. Así pues, como norma general, las barreras deben situarse lo más alejadas de la calzada para permitir la funcionalidad del sistema<sup>(xiii)</sup>.

Dentro de los aspectos que afectan a la funcionalidad del sistema se encuentra la dirección del impacto. Las barreras se diseñan para responder adecuadamente ante un cierto ángulo de choque. Exactamente de 20º y 15º de acuerdo con la Norma UNE-EN 1317-2. Evidentemente, aunque estos ángulos de ensayo teóricamente caracterizan las situaciones más comunes, la realidad es que el rango de ángulos con que impactan los vehículos es muy amplio. Cuanto más se aleje el ángulo de incidencia de choque real del ensayado, menores garantías habrá de que el sistema se comporte adecuadamente.

Desde luego, muchos de los accidentes contra las barreras tienen lugar con ángulos de incidencia significativamente superiores a los de ensayo y aún así éstas cumplen parcialmente su función. Sin embargo, llegando al extremo (al aproximarse a 90º de incidencia) las barreras no son más que un obstáculo ya que no funcionan como amortiguadores de impacto.

Por otro lado sucede que el factor concurrente más común en los accidentes por salida de vía es la somnolencia. Cuando un conductor se adormita, suavemente va girando el volante mientras circula prácticamente sin modificar la velocidad lo que, hasta cierto punto, hace describir al vehículo una clotoide (que puede aproximarse a una parábola cúbica). Es decir, en los casos más habituales, el vehículo que se sale de la vía no sigue una dirección fija, sino que a medida que se aleja de la calzada aumenta el ángulo entre su trayectoria y el que describe la traza de la carretera.

Por tanto, la separación entre barrera y calzada tiene como límite evitar que los choques que se produzcan contra ellas sean demasiado perpendiculares. Este límite no puede fijarse de momento de una forma rigurosa pues el obligatorio marcado CE para caracterizar a los sistemas de contención no contempla un rango de ángulos de impacto dentro de los cuales las barreras funcionen parcialmente. Como referencia, para velocidades de 120 km/h se admiten separaciones del orden de 15 metros entre la barrera y el borde más cercano del carril más alejado a ella, pues a partir de estas distancias los choques que se producen se consideran demasiado perpendiculares.

Otro de los aspectos que limita enormemente la capacidad del sistema para funcionar adecuadamente es la altura a la que se produzca el impacto. Lógicamente, y de acuerdo con las condiciones del ensayo, los sistemas también se diseñan para que los vehículos impacten contra una determinada parte del dispositivo (generalmente una valla bionda) con una orientación concreta que optimiza la absorción de energía. Al igual que sucede con el ángulo de impacto, cuanto más difiera la situación real de la de ensayo, menos garantías existen de que el sistema funcione adecuadamente.

A este respecto, es especialmente importante que la superficie entre la barrera y la calzada sea llana y sin irregularidades. Sucede que, si el espacio entre la calzada y la barrera es grande y presenta irregularidades o una notable pendiente puede ocurrir que el vehículo que se sale de vía quede momentáneamente suspendido en el aire durante la trayectoria de choque<sup>(XIII)</sup>. En estos casos, la eficacia de la barrera queda muy reducida, aumentando la probabilidad de vuelco del vehículo tras el impacto. Por el contrario, si el espacio entre la calzada y la barrera es transitable y es relativamente llano (taludes superiores a 6H:1V), ante una trayectoria errática a velocidades no excesivamente elevadas, las ruedas no tienen por qué despegarse del suelo y la suspensión del vehículo puede mantenerse estable. En este sentido, para separar la barrera más allá de la berma es condición indispensable que el terreno que quede entre el sistema y la calzada sea relativamente llano y sin irregularidades.

En cuanto a la altura del impacto, también cabe señalar que las barreras dobles que se disponen entre la cuneta de mediana

y el arcén presentan el inconveniente de que los vehículos que se accidentan desde la calzada más alejada atraviesan la cuneta experimentando el paso de pendiente a rampa antes del impacto con la barrera. Esto provoca que en el momento del choque la suspensión del vehículo esté por debajo de la de diseño del sistema, reduciéndose así la eficacia del mismo. Este efecto se limita notablemente a medida que la barrera se separa del punto bajo de la cuneta. En este sentido se recomiendan distancias entre barrera y punto bajo a partir de 2,4 metros.

Por último, pero no menos importante, por los motivos señalados, la disposición de la barrera debe ajustarse en la medida de lo posible a las condiciones del ensayo en cuanto a la posición relativa de la superficie de contacto con el vehículo en el momento del choque. A este respecto, debe ponerse de relieve que la referencia no tiene que ser la horizontalidad-verticalidad, sino la pendiente del terreno por el que circularán los vehículos antes de impactar. Generalmente los sistemas están constituidos básicamente por unas vallas sustentadas por postes perpendiculares al suelo. La posición más adecuada en este sentido es que los postes se instalen perpendiculares al terreno; es decir, inclinados y no verticales. De esa forma, en el momento del choque (y siempre que se cumplan las condiciones antes señaladas en cuanto a la pendiente del terreno y a la ausencia de irregularidades) la valla queda más alineada con la carrocería del vehículo que impacta contra ella, optimizándose la absorción de energía por su parte.

## NORMATIVA DE REFERENCIA

Todos los sistemas de contención de vehículos que se comercialicen en la Unión Europea deben contar con Marcado CE, que sólo se otorga a aquellos que hayan sido evaluados favorablemente según lo adoptado en la *Directiva de Productos de la Construcción (89/106/CEE)*. En el caso de las barreras de seguridad, éstas deben estar certificadas por parte de un organismo notificado que haya evaluado su conformidad con la Norma UNE-EN 1317. Esta última norma impone la realización de ensayos a escala real por parte de laboratorios acreditados que permiten caracterizar los sistemas de contención en función de los siguientes aspectos:

- Clase y nivel de contención,
- Anchura de trabajo,
- Deflexión dinámica, e
- Índice de severidad.

Por otro lado, para la Red de Carreteras del Estado, es de aplicación la Orden Circular 28/2009 por la que se aprobaron las Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de

---

(c) Según el apartado 2.3 de la Norma 3.1-IC los acondicionamientos son aquellas obras cuya finalidad es la modificación de las características geométricas de la carretera existente, con actuaciones tendentes a mejorar los tiempos de recorrido, el nivel de servicio y la seguridad de la circulación.

seguridad metálicas. Esta Orden Circular anula los criterios de instalación y disposición de la O.C. 321/95 T y P y su catálogo anexo, así como todos los sistemas que estuvieran aceptados en su momento y tiene como ámbito de aplicación los proyectos de carreteras de nueva construcción y acondicionamiento<sup>(4)</sup> de las existentes.

Estas recomendaciones básicamente establecen cómo disponer las barreras de seguridad metálicas allí donde esté justificado en la Red de Carreteras del Estado y las condiciones que deben cumplir en cuanto a nivel de contención, anchura de trabajo o deflexión dinámica e índice de severidad, todo ello en función de las características de la infraestructura, del tráfico y del entorno.

Cabe destacar que el espíritu de esta norma primero es evitar que tengan que disponerse sistemas de contención. De hecho preconiza que cuando se identifiquen obstáculos o desniveles en los márgenes (incluidas las medianas) deben plantearse soluciones alternativas a la instalación de barreras y hacerse un análisis económico de todas ellas (incluida la barreras) teniendo en cuenta los costos de mantenimiento de dichas soluciones. En las consideraciones preliminares de estas recomendaciones se dice explícitamente que las soluciones alternativas *“son preferibles desde el punto de vista de la seguridad vial frente a la disposición de barreras metálicas”*.

Las soluciones alternativas a las que se refiere, por orden de prioridad, son:

- Eliminar el obstáculo o desnivel.
- Rediseñar el obstáculo (o desnivel) de modo que sea franqueable por los vehículos en condiciones de seguridad. Por ejemplo: aumentando el talud de desmontes o terraplenes, disponiendo cunetas de seguridad o cunetas drenantes o protección de pasos salvacunetas con herrajes (picos de pato). En este caso, dentro de las alternativas se encontraría el tener más los taludes de las medianas para al menos evitar disponer barrera adosada a uno de los arcones interiores.
- Trasladar el obstáculo a una zona donde resulte menos probable que el vehículo impacte con él. Por ejemplo, situándolo a mayor distancia del borde de la calzada (lo que podría hacerse muchas veces con el equipamiento electrónico) o disponerlo en un tramo recto en vez de curvo.
- Disminuir la severidad del impacto contra el obstáculo disponiendo una estructura soporte eficaz para la seguridad pasiva. Por ejemplo: instalación de báculos de iluminación fusibles.

También cabe destacar que, según epígrafe 4.4.2 de la propia O.C. 28/2009, en las medianas de autovías de 2 carriles por calzada y velocidades de proyecto de 120 km/h, con terreno llano

(taludes 5H:1V o más tendidos) en las que la distancia entre los bordes interiores de las superficies pavimentadas y el eje de la mediana sea igual o inferior a 13,3 m (lo que es una situación relativamente habitual en las autovías españolas) *“se empleará preferentemente una barrera de seguridad metálica doble dispuesta en las proximidades del eje de la mediana”*.

En cuanto al resto de características técnicas de los componentes y del sistema sobre su fabricación, puesta en obra y control de calidad, debe estarse además a lo dispuesto en el artículo 704 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).

## DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DISPUESTOS EN LA MEDIANA DE LA A-40 ENTRE VILLARRUBIA DE SANTIAGO Y SANTA CRUZ DE LA ZARZA

El Ministerio de Fomento recientemente ha puesto en servicio el subtramo de la Autovía A-40 entre Villarrubia de Santiago-Santa Cruz de la Zarza, perteneciente al tramo: Variante de Ocaña – Tarancón.

El corredor parte de la autovía de Extremadura A-5 a la altura de Maqueda y discurre hacia el Este, enlazando con la autovía de Toledo A-42 en el entorno de la capital manchega, más adelante con la autovía de Andalucía A-4 en el entorno de Ocaña, posteriormente con la autovía del Levante A-3 a la altura de Tarancón y llegando, por último, a la ciudad de Cuenca.

DISPOSICIÓN EN OBRA DE LA BARRERA METÁLICA			
TIPO	METROS LINEALES EJECUTADOS (M.L.)	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN
BMS4-N2	15.652	Barrera metálica simple	Zona de bordes exteriores de calzadas
BMD2-H1	10.552	Barrera metálica doble	Zona de Mediana
BMS2-H1	3.000	Barrera metálica simple	Zona de pías de pasos superiores

Tabla 1. Tipos de barreras dispuestas en obra y longitud de cada una.

### 1. BARRERA METÁLICA DE SEGURIDAD PUESTA EN OBRA

Todos los elementos y accesorios utilizados en las barreras metálicas dispuestas en esta obra están sometidos a las normas españolas UNE 135 121 y UNE 135 122. Las vallas, postes y separadores son productos certificados por Bureau Veritas. La barrera metálica colocada en obra, incluyendo todos sus componentes, cumple con la normativa vigente y posee el marcado CE exigido actualmente.

En obra se han instalado varios tipos de barrera metálica. En la Tabla 1 se muestra una relación de los 3 tipos de barrera utilizada, incluyendo la longitud de metros lineales dispuestos.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE BARRERA

Los diferentes tipos de barrera adoptados se han escogido atendiendo fundamentalmente a los siguientes criterios de localización:

- BMS4 – N2 / Barrera metálica simple: zona de bordes exteriores de calzadas.
- BMS2 – H1 / Barrera metálica simple: zona de pilas de pasos superiores.
- BMD2 – H1 / Barrera metálica doble: zona de mediana.

Las diferencias más importantes entre la barrera simple de borde de calzada (BMS4 – N2) y la barrera simple de zona de pilas de pasos superiores (BMS2 – H1), es que esta última presenta:

- Mayor nivel de contención (H1),
- Mayor grosor de postes (C125), y
- Menor distancia entre postes (2,0 m).

## 3. ASPECTOS MÁS NOVEDOSOS

En lo referente a sistemas de contención, esta obra se caracteriza por la novedosa disposición de la barrera de seguridad metálica doble colocada en la mediana, la cual presenta cierta inclinación con respecto a la calzada y se encuentra separada de la plataforma. En este sentido indicar que cumple con la normativa vigente OC 28/2009, como se explica más adelante.

En la Foto 1 se observa cómo ha quedado instalada la barrera de seguridad en la zona de mediana de la autovía.

La O.C. 28/2009, define los criterios de disposición de la barrera metálica en medianas. En este sentido, en carreteras con calzadas separadas se recomiendan las siguientes disposiciones:

*“1. En las medianas con terreno llano<sup>(a)</sup> en las que la distancia entre los bordes interiores de las superficies pavimentadas sea igual o inferior a la establecida en la tabla 8 (que se muestra en la Tabla 2 de este artículo), se empleará preferentemente una barrera de seguridad metálica doble que se dispondrá dentro de la mediana, en la posición transversal más conveniente, según criterios de trazado (visibilidad), de conservación, etc.*

*2. En las medianas con terreno llano en las que la distancia entre los bordes interiores de las superficies pavimentadas y el eje de la mediana sea igual o inferior a la establecida en la tabla 8, se empleará preferentemente una barrera de seguridad metálica doble dispuesta en las proximidades del eje de la mediana”.*

(a) De acuerdo con la O.C. 28/2009 se considera terreno llano el que presenta una inclinación transversal igual o superior a la correspondiente a un talud 5:1 (relación Horizontal:Vertical), y con cambios de inclinación suavizados.



Foto 1. Aspecto de la barrera colocada próxima al centro de la mediana.

Nº DE CARRILES POR CALZADA	VELOCIDAD DE PROYECTO VP (KM/H)					
	50	60	70	90	100	120
1	1,5	2,8	4,5	7,5	11,0	16,8
2	0,5	0,5	1,0	4,0	7,5	13,3
3	0,5	0,5	0,5	0,5	4,0	9,8
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6,3

Tabla 2. Máximas distancias entre el borde de las superficies pavimentadas y una barrera de seguridad metálica paralela a ella (Fuente: O.C. 28/2009 de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento).

La tabla 8 citada anteriormente (Tabla 2 de este texto), define la máxima distancia (m) entre el borde de las superficies pavimentadas y una barrera de seguridad metálica paralela a ella. En el caso de la Autovía A-40, Tramo: Villarrubia de Santiago-Santa Cruz de la Zarza, la distancia entre los bordes interiores de las superficies pavimentadas es de 10 metros, siendo la velocidad de proyecto (VP) en todo el tramo de 120 km/h, por tanto nos encontramos en los casos 1 y 2 antes mencionados. En la Tabla 2 se ha marcado con un recuadro la distancia máxima asociada a este proyecto.

En la Figura 1 se incluye un esquema, denominado posición general de la barrera, en el que se comprueba que el terreno de la mediana corresponde con la denominación de terreno llano definida en la OC 28/2009, en cuanto a que la inclinación es superior a un talud 5H.1V. En este caso la inclinación es 6H:1V.

## 4. INCLINACIÓN DE LA BARRERA

La O.C. 28/2009, respecto de la inclinación de la barrera, en su apartado 6.4, indica que: “Durante su instalación o puesta en obra, se cuidará especialmente la inclinación de la barrera de seguridad metálica respecto de la plataforma adyacente, de forma que resulte perpendicular a esta” (ver Figura 2). Para este proyecto se debe considerar como plataforma adyacente la superficie de berma de mediana, y no la calzada como

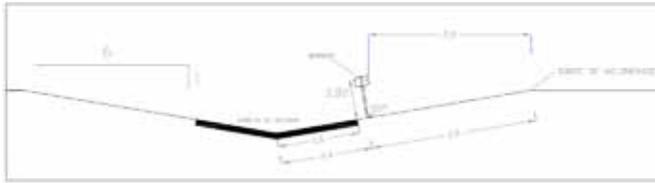


Figura 1. Esquema de posición general de la barrera.

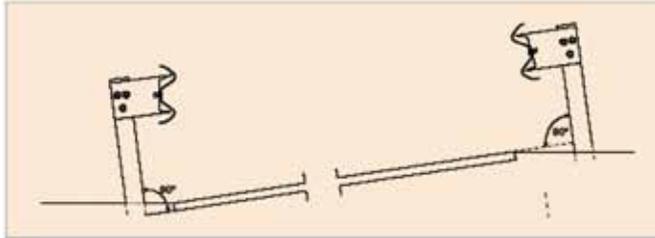


Figura 2. Inclínación adecuada de las barreras de seguridad  
(Fuente: O.C. 28/2009. Ministerio de Fomento).

es habitual, ya que el plano de rodadura del vehículo en el momento del impacto es la mediana.

## 5. CONSIDERACIONES RESPECTO DE LA DISPOSICIÓN TRANSVERSAL

Como se ha mostrado en el apartado anterior, al considerar el terreno de la mediana llano y teniendo en cuenta la Tabla 2, puede colocarse la barrera metálica doble en las proximidades del eje de la mediana.

Observando el esquema de *posición general de la barrera* (Figura 1), puede comprobarse que a ambos lados de la barrera metálica existe anchura suficiente para que un turismo (ver Foto 2) pueda, al salirse por cualquiera de las 2 calzadas e impactar con la barrera metálica, sufrir un accidente de acuerdo a los ensayos realizados, ya que en ambos lados la altura de la barrera con respecto al terreno es la establecida en el certificado que indica las condiciones del ensayo.

Conviene señalar también que la posición de la barrera metálica doble se ha determinado teniendo en cuenta las pilas de los pasos superiores situadas en la mediana.

Para mantener la disposición transversal de la barrera metálica a lo largo de todo el tramo (ver esquema posición general de la barrera de la Figura 1), se ha observado la posición de las pilas, sus dimensiones ( $\varnothing = 1,0$  m) y la anchura de trabajo y máxima deflexión dinámica establecidas en las condiciones de ensayo, de manera que éstas se cumplan.

La barrera instalada cumple también con los demás criterios definidos en la OC 28/2009, en cuanto a distancias en mediciones y disposición en altura.

### 5.1. DISTANCIAS EN MEDIANAS

Si la barrera de seguridad metálica es del tipo doble, se podrá variar su posición en la mediana respecto del eje, lo cual puede resultar especialmente conveniente en tramos curvos. Los cambios de alineación con relación al eje de la mediana / borde de la calzada se harán a razón de no menos de 20 m de longitud por cada metro de desplazamiento transversal.

### 5.2. DISPOSICIÓN EN ALTURA

Siempre que se instalen las barreras de seguridad metálicas, la altura de la parte superior del sistema será la definida en los ensayos, según la norma UNE EN 1317.

En este caso, la distancia de la barrera al borde de la calzada excede de 2 metros, por lo que la altura de su parte superior se referirá al terreno, en que esté colocada, a 0,5 metros de la cara delantera de la barrera de seguridad metálica (ver Figura 3).

Para mantener una homogeneidad por motivos visuales, y para dar continuidad a la altura de la barrera lo largo de todo el tramo, se decidió disponer una altura de la misma de 82 cm. Señalar que en la mediana se ha instalado barrera metálica doble y barrera metálica simple para proteger las pilas de los pasos superiores.



Foto 2. Situación del coche antes de impactar con la barrera habiéndose salido por la mediana desde la calzada más alejada de la barrera.

La barrera metálica doble, BMD2-H1, requiere una altura de 79+5 cm.

La barrera metálica simple para proteger las pilas de los pasos superiores, BMS2-H1, exige una altura de 77+5 cm.

Para mantener una homogeneidad se decidió tomar como referencia la altura de 82 cm, válida para ambos tipos de barrera.

La barrera de seguridad metálica dispuesta en esta obra, por tanto, garantiza un nivel de contención adecuado para los casos de vehículos fuera de control y disminuye la severidad del accidente mediante la absorción de una parte de la energía cinética del vehículo y la reconducción de su trayectoria.

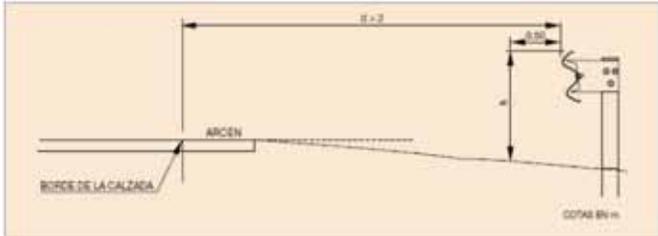


Figura 3. Disposición en altura de las barreras (Fuente: O.C. 28/2009. Ministerio de Fomento).

### VENTAJAS DE LA DISPOSICIÓN DE LA BARRERA CERCA DEL EJE DE LA MEDIANA

Si se dan las condiciones necesarias, especialmente en cuanto a la suavidad de la pendiente transversal de la mediana y ausencia de irregularidades en ella, disponer la barrera de seguridad en mediana próxima al eje de la carretera presenta una serie de ventajas frente a adosarla a uno de los arcenes interiores. Las más importantes son las siguientes:

- Aumenta las posibilidades de evitar un accidente ya que se encuentra más separada de la calzada y por tanto el conductor de un vehículo que se sale de vía por somnolencia o distracción tendría posibilidad de rectificar su trayectoria antes de colisionar con la barrera (Foto 3).



Foto 3. Colocar la barrera cerca del eje de la mediana aumenta las posibilidades de evitar un accidente, ya que el conductor que se sale de la vía tendrá posibilidades de rectificar su trayectoria antes de colisionar con la barrera.

- Aproxima las condiciones en que se producen los impactos reales a las de ensayo en cuanto a altura del sistema y orientación de la bionda, especialmente para los choques de vehículos provenientes de la calzada más alejada.

- No limita la visibilidad del trazado en curvas (lo que sí sucede habitualmente cuando se dispone la barrera adosada al arcén interior de la mediana) por lo que no se compromete la visibilidad de parada.

- En el caso de existir retenciones, un vehículo que no tuviera tiempo suficiente para frenar podría salirse hacia la mediana, que estaría despejada, teniendo una vía de escape o un accidente contra la barrera en lugar de tener un accidente por alcance contra el vehículo de delante que se encuentra detenido. También facilita mayor espacio para la circulación de vehículos de emergencias ante retenciones.

- Si un vehículo sufre finalmente un accidente este podría permanecer en la mediana disminuyendo el riesgo de que un vehículo que circule por el carril rápido impacte contra el mismo.

- No es necesario levantar la barrera en el caso de realizar un refuerzo de firme puesto que la altura de referencia para la barrera es la de la berma de mediana y no la de la plataforma.

- La reposición de la barrera y las tareas de conservación se realizan de una manera más segura puesto que la barrera se encuentra más separada del carril rápido, reduciendo el riesgo para los operarios (Foto 4).

- No genera efecto túnel para los usuarios puesto que la barrera se encuentra separada de la plataforma.



Foto 4. La reposición de la barrera y las tareas de conservación se realizan de una manera más segura cuando ésta se dispone próxima al eje de la mediana ya que se encuentra más separada del carril rápido, reduciendo el riesgo para los operarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

I. World Health Organization (WHO). 2011. "Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020," W. H. O. (WHO), Geneva.

II. Comisión Europea. 2012. "Transport in figures 2012".

III. European Transport Safety Council (ETSC). 2012. "6th Road Safety PIN Report".

IV. Comisión Europea. 2010. "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Towards a European Road Safety Area: Policy Orientations on Road Safety 2011-2020," COM(2010) 389 final. Brussels.

V. Europe, WHO Regional Office for. 2009. "European Status Report on Road Safety: Towards Safer Roads and Healthier Transport Choices," Copenhagen: World Health Organization.

VI. Abellán Perpiñán, J.M et al. 2011a. "El valor monetario de una vida estadística en España. Estimación en el contexto de los accidentes de tráfico.," y Abellán Perpiñán, J.M et al. 2011b. "El valor monetario de una víctima no mortal y del año de vida ajustado por la calidad en España. Estimación en el contexto de los accidentes de tráfico". R. studies, Universidad de Murcia y Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

VII. DGT 2012 "Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2011".

VIII. Samuelson, P. 1947. "Foundations of Economics Analysis". Cambridge: Mass.

IX. Elvik, R. 1994. "The safety value of guardrails and crash cushions: a meta-analysis of evidence from evaluation studies". Institute of transport economics. Norwegian Centre of transport research.

X. Donnell, E.T. & Mason, J.M. 2006. "Predicting the frequency of median barrier crashes on Pennsylvania interstate highways". Accident Analysis and Prevention 38 (2006) 590-599.

XI. Hu, W. & Donnell, E.T. 2010. "Median barrier crash severity: Some new insights". Accident Analysis and Prevention 42 (2010) 1697-1704.

XII. Domínguez, C.A., Pardillo, J.M., Jurado, R. 2008. "Evaluación de la seguridad en las márgenes de la carretera". VIII Congreso Nacional de Ingeniería de los Transportes. A Coruña, julio de 2008.

XIII. Bligh, et al. 2005. "Median barrier guidelines for Texas". Report id: FHWA/TX-06/0-4254-1.

Más Infraestructura  
es mejorar  
la Seguridad Vial



**CONSTRUCCIÓN DE OBRA  
BÁSICA Y PAVIMENTACIÓN  
RUTA PROVINCIAL N° 137**  
PUERTA DE CORRAL QUEMADO - CORRAL QUEMADO

**CATAMARCA**  
Crece porque hace

**LUCIACORPACCI**  
GOBERNADORA



# CAMINOS DEL RÍO URUGUAY

S.A. DE CONSTRUCCIONES Y CONCESIONES VIALES



**Caminos del Río Uruguay**

## **Autopista Mesopotámica**

Rutas Nacionales N° 12 y 14 .  
Financió y Construyó las Autovías:  
Brazo Largo-Ceibas y Panamericana-Zárate

Visite nuestra página en la Web: [www.caminosriouruguay.com.ar](http://www.caminosriouruguay.com.ar)

Tronador 4102 - C1430DMZ Capital - Teléfono: 4544-5302 (Líneas Rotativas)