

RUTAS TÉCNICA

**Acondicionamiento de carreteras en entornos difíciles.
N-260. Tramo Congosto**

**Panorámica de las mezclas bituminosas en carreteras en España.
Reseña histórica**

Mezclas bituminosas ultradelgadas semicalientes, sostenibles y seguras

RUTAS DIVULGACIÓN

Un día normal, en futuro cercano

Carreteras solidarias

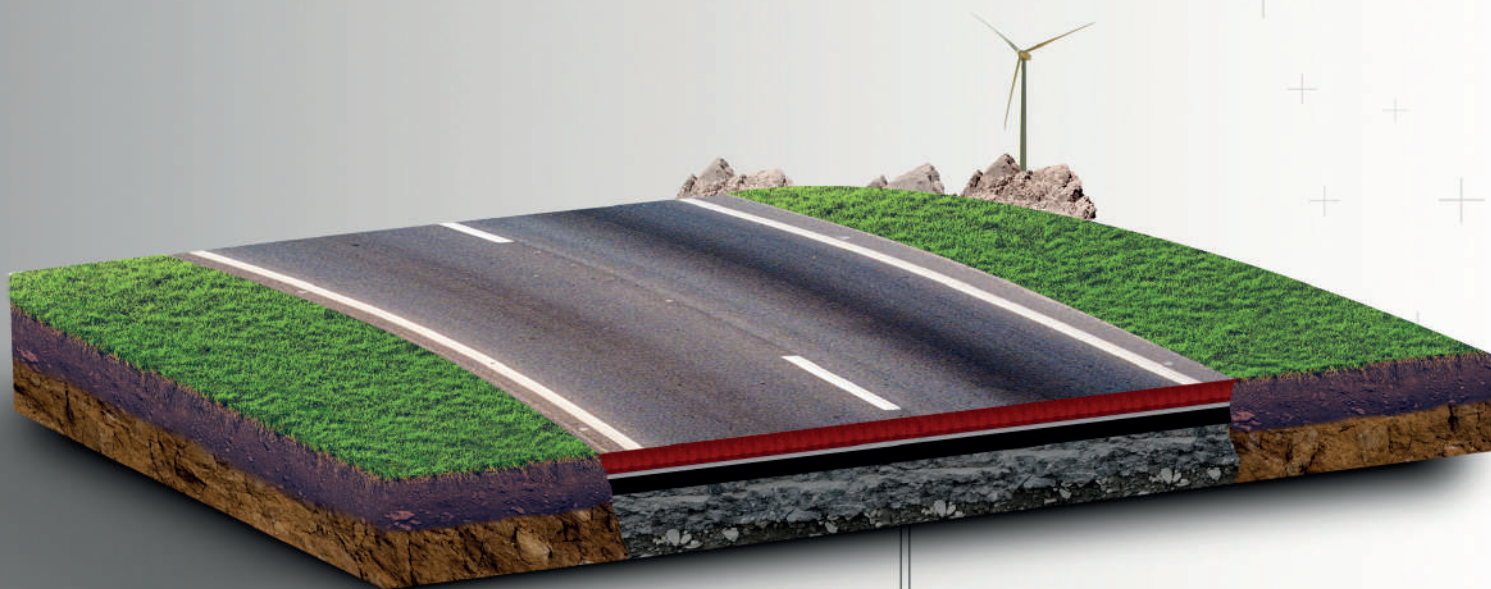
Puentes de madera



DESCUBRE LA GAMA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

Gracias a las **mejoras en la Gama de Emulsiones de Cepsa**, disfruta de soluciones específicas para cada aplicación y optimiza las prestaciones de cada tratamiento.

INFÓRMATE EN cepsa.es/asfaltos



Riegos de adherencia
Otros riegos auxiliares
Microaglomerados y Lechadas
Mezclas templadas

Riegos de adherencia termoadherente
Tratamientos superficiales con gravilla
Mezclas bituminosas en frío
Reciclados con emulsión

CEPSA

Tu mundo, más eficiente.

Tribuna Abierta



- 03 Humanización de las Carreteras.
Desafío y Oportunidad en la Era de la Automatización y la Digitalización**

Alfredo García

Rutas Técnica



- 05 Acondicionamiento de carreteras en entornos difíciles.
N-260. Tramo Congosto de Ventamillo– Campo**

Upgrading of roads in challenging areas

Rafael López Guarga, Iñigo Pérez Martínez y Gabriel Sola Munarriz

- 19 Panorámica de las mezclas bituminosas en carreteras en España.
Reseña histórica**

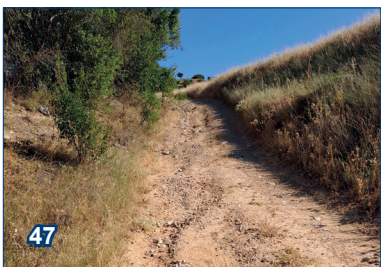
Overview of bituminous mixtures on roads in Spain. Historical review

GT9 Mezclas Bituminosas del Comité de Firmes ATC

- 32 Mezclas bituminosas ultradelgadas semicalientes, sostenibles y seguras**

Sustainable and safe ultrathin warm mix asphalt

José Ramón López Marco, Rebeca Sastre Rabal, Julio López Ayerra, Gloria Motos Cascales y Jesús Felipe Sanjuán



Rutas Divulgación

- 44 Un día normal, en futuro cercano**

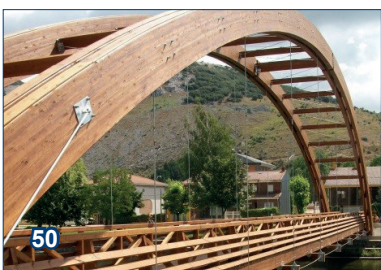
Jesús Rubio Alférez y Manuel G. Romana

- 47 Carreteras solidarias**

Antonio Sánchez Trujillano

- 50 Puentes de madera**

Francisco Santos y Julio Vivas



Cultura y Carretera

- 58 Los túneles y la mediación**

Luis Palencia Garrido-Lestache

PIARC

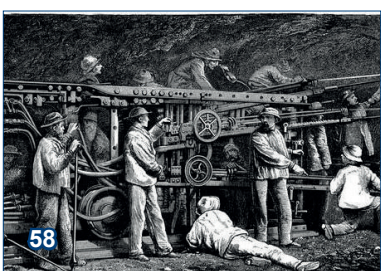
- 61 XXVII Congreso Mundial de la Carretera de PIARC**

ATC

- 62 Socios ATC / Cepsa**

- 64 Próximos eventos ATC**

- 65 Junta Directiva, Comités Técnicos y Socios de la ATC**



Edita:

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

Comité Editorial:

Presidente:

Álvaro Navareño Rojo Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (España)

Vicepresidente Ejecutivo:

Óscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez Dirección General de Carreteras, MITMA (España)

Vocales:

Ana Isabel Blanco Bergareche	Subdirectora Adjunta de Circulación, DGT, M. Interior (España)
Alfredo García García	Catedrático de la Universitat Politècnica de València (España)
Jaime Huerta Gómez de Merodio	Secretario del Foro de Nuevas Tecnologías en el Transporte, ITS España (España)
Mariló Jiménez Mateos	Jefa de Área Técnica Estudios, MITMA (España)
María Martínez Nicolau	Directora Técnica de Innovia-Coptalia (España)
Félix Pérez Jiménez	Catedrático de Caminos de la Universidad Politécnica de Barcelona (España)
Manuel Romana García	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (España)
Jesús J. Rubio Alférez	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)
Javier Sainz de los Terreros Goñi	Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (España)

Vocales-Representantes de los Comités Técnicos de la ATC:

Rafael López Guarga	Presidente del CT de Túneles de Carreteras
José Manuel Blanco Segarra	Presidente del CT de Financiación
Luis Azcue Rodríguez	Presidente del CT de Vialidad Invernal
Javier Payán de Tejada	Presidente del CT de Firms de Carreteras
Fernando Pedraza Mazarrez	Presidente del CT de Planificación, Diseño y Tráfico
Álvaro Parrilla Alcaide	Presidente del CT de Geotecnia Vial
Vicente Vilanova Martínez-Falero	Presidente del CT de Conservación y Gestión
Álvaro Navareño Rojo	Presidente del CT de Puentes de Carreteras
Roberto Llamas Rubio	Presidente del CT de Seguridad Vial
Antonio Sánchez Trujillano	Presidente del CT de Carreteras y Medio Ambiente
Andrés Costa Hernández	Presidente del CT de Carreteras de Baja Intensidad de Tráfico
Carlos Azparren Calvo	Presidente del CT de Dotaciones Viales

Redacción, Maquetación, Diseño, Producción y Gestión Publicitaria:

Asociación Técnica de Carreteras
Tel.: 91 308 23 18 ♦ info@atc-piarc.com

Arte Final, Impresión y Distribución:

Huna Comunicación (Huna Soluciones Gráficas S. L.)
Tel.: 91 029 26 30 ♦ www.hunacomunicacion.es

Depósito Legal: M-7028-1986 - ISSN: 1130-7102
Todos los derechos reservados.

La Revista Rutas publica trabajos originales de investigación, así como trabajos de síntesis, sobre cualquier campo relacionado con las infraestructuras lineales. Todos los trabajos son revisados de forma crítica al menos por dos especialistas y por el Comité de Redacción, los cuales decidirán sobre su publicación. Solamente serán considerados los artículos que no hayan sido, total o parcialmente, publicados en otras revistas, españolas o extranjeras. Las opiniones vertidas en las páginas de esta revista no coinciden necesariamente con las de la Asociación ni con las del Comité de Redacción de la revista.

Precio en España: 18 euros +IVA

© Asociación Técnica de Carreteras

REVISTA RUTAS

La Revista Rutas desde 1986, año de su creación, es la revista editada por la Asociación Técnica de Carreteras (Comité Nacional Español de la Asociación Mundial de la Carretera).

Las principales misiones de la Asociación, reflejadas en sus Estatutos son:

- Constituir un foro neutral, objetivo e independiente, en el que las administraciones de carreteras de los distintos ámbitos territoriales (el Estado, las comunidades autónomas, las provincias y los municipios), los organismos y entidades públicas y privadas, las empresas y los técnicos interesados a título individual en las carreteras en España, puedan discutir libremente todos los problemas técnicos, económicos y sociales relacionados con las carreteras y la circulación viaria, intercambiar información técnica y coordinar actuaciones, proponer normativas, etc.
- La promoción, estudio y patrocinio de aquellas iniciativas que conduzcan a la mejora de las carreteras y de la circulación viaria, así como a la mejora y extensión de las técnicas relacionadas con el planteamiento, proyecto, construcción, explotación, conservación y rehabilitación de las carreteras y vías de circulación.



Nº 196 JULIO - SEPTIEMBRE 2023

RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

*Fotografía de portada:
Imagen de Pexels en Pixabay*

Humanización de las Carreteras

Desafío y Oportunidad en la Era de la Automatización y la Digitalización

Alfredo García

Catedrático de Ingeniería de Carreteras

Universitat Politècnica de València

En la era de la digitalización y la automatización, conceptos como la humanización de las carreteras pueden parecer anacrónicos, casi un contrasentido. Sin embargo, nos ha de invitar a reflexionar sobre la importancia de este enfoque en el contexto de la evolución tecnológica del transporte por carretera, la movilidad y la seguridad vial.

La idea de humanizar las carreteras se había asociado reciente y principalmente al acondicionamiento de travesías, pero ahora se quiere extender a toda la red vial. ¿Hasta qué punto la humanización de las carreteras se puede compaginar con las carreteras inteligentes?

Los técnicos disponemos de una gran caja de herramientas técnicas contrastadas que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo y la gestión de las infraestructuras viarias físicas. Sin embargo, en la era de la digitalización y la automatización, se abre una oportunidad para complementar este conjunto con una caja de herramientas tecnológicas. Esta doble perspectiva debe ser considerada desde hoy en día, ya que estas tecnologías tienen el potencial de contribuir de manera significativa a la mejora de las carreteras, también en términos de humanización. En este contexto, la humanización adquiere un papel central al destacar la primordial relevancia del factor humano en la movilidad a lo largo de las carreteras. Esta importancia se ha mantenido constante a lo largo del tiempo y perdurará aún en la era de la automatización y la conectividad vehicular, donde las máquinas toman protagonismo.

Vamos disponiendo de herramientas tecnológicas que nos ayuden, que se supone que van a facilitar una seguridad vial incremental. Pero, no nos engañemos, llevamos una década en España con la siniestralidad totalmente estancada. Se han puesto muchas esperanzas en la seguridad vial incremental diferencial que van a aportar los vehículos automatizados y conectados, pero ya hemos sumado diez años sin avances.

Se están vendiendo desde hace más de seis años vehículos automatizados de nivel 2 y, desde hace un año, todos los que se homologan ya han de disponer de ese nivel de automatización, con muchas asistencias a la conducción. Sin embargo, es de conocimiento general que al adquirir un automóvil, suele ocurrir que se proporciona una explicación limitada y se entregan las llaves, sin brindar información detallada sobre el funcionamiento de las ayudas incorporadas. Además, tampoco hay una formación general en el sentido de la utilización segura de estas ayudas tecnológicas.

Aunque el vehículo sea automatizado, es el factor humano el que está al tanto de su evolución, por lo que la humanización de esa función seguirá siendo fundamental hasta que lleguen los vehículos autónomos. Se piensa solo en el usuario vulnerable, pero el humano seguirá siendo el responsable de la evolución de los vehículos durante muchos años y, además, es el mayoritario y seguirá siendo mayoritario en las carreteras. Luego, si no recibe información y formación de cómo usar la automatización, la seguridad diferencial no se aprovechará, sobre todo porque no acepta las asistencias y no las usa.

¿Qué está ocurriendo? Los sistemas de ayuda no son perfectos, tienen limitaciones y fallos. Por ejemplo, el control de localización trasversal en el carril presenta desconexiones ante determinadas circunstancias, es decir, cede el control al conductor y está más que demostrado que los tiempos de reacción aumentan enormemente con respecto a la conducción humana tradicional. Es decir, se presentan situaciones de sobresalto, ya que inconscientemente y sin comprender las razones, se puede experimentar una salida del carril. Esto está llevando a que una proporción alta de conductores están desconectando las asistencias de este tipo.

En consecuencia, la supuesta mejora en seguridad que se esperaba de los vehículos automatizados se ve disminuida debido a la falta de consideración hacia el papel crucial del factor humano en el uso efectivo de estos vehículos. Esto resulta en una pérdida de la ventaja en seguridad, ya que se experimentan numerosas desconexiones y sobresaltos.

Luego, hay una primera idea clave y es que la humanización no solo son usuarios vulnerables – peatones y ciclistas –, sino que el factor humano al volante es fundamental, incluso manejando vehículos automatizados.

Esa caja de herramientas tecnológicas hay que ir llenándola de soluciones eficientes y contrastadas, que aporten infraestructuras y soluciones digitales a la infraestructura física. Es aquí donde ha de entrar la protección segura de los usuarios vulnerables a lo largo de las carreteras.

Por ejemplo, en el GIIC-UPV estamos terminando de desarrollar una prueba de concepto de un sistema de señalización dinámica para la seguridad ciclista en carretera. Esto es un proyecto subvencionado por el Ministerio de Ciencia, con la colaboración de la Diputación Provincial de Valencia y la empresa ETRA. Además, estamos avanzando en la extensión del mismo a una monitorización espaciotemporal de peatones transitando por las carreteras, con una activación dinámica de balizamiento para su protección, así como la centralización de todos los datos que se generen para su difusión pública por conectividad, pudiendo llegar a los navegadores.

De esta forma, se podría saber en tiempo real, al circular por un tramo, si te vas a encontrar a peatones o ciclistas, y se puedan ajustar de forma dinámica los límites de velocidad o las velocidades recomendadas. Se tratará de un sistema cooperativo para mejorar la seguridad vial, abarcando a los usuarios vulnerables, pero gestionando el balizamiento y las velocidades de forma dinámica, activándolos cuando haya demanda y no de forma fija o, como mucho, en intervalos fijos, como hasta ahora.

La humanización de las carreteras está bien, quizás como etiqueta, pero creo que el concepto que subyace

es una seguridad vial inclusiva de todos los usuarios. No se trata solo de que puedan transitar por las carreteras, sino de que lo hagan con la mayor seguridad posible. Para ello, se hace necesaria la combinación de soluciones de las dos cajas de herramientas: disposiciones en la infraestructura y soluciones tecnológicas y digitales.

Por tanto, es muy importante saber dónde tenemos, no los problemas, sino la disposición, la voluntad o el deseo de usar distintos tramos de carreteras convencionales por parte de cualquier tipo de usuario, porque lógicamente los recursos son limitados. Y hay que invertirlos progresivamente donde más demanda haya de tránsito de distintos tipos de usuarios.

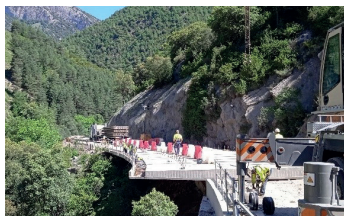
Hay una última idea clave. En la gestión de la seguridad vial, al analizar la siniestralidad, se estudian dónde se producen los siniestros y las concentraciones. No es fácil detectar las causas o tienen una solución muy costosa. Entonces, a veces o muchas veces, se recurre al comodín de la velocidad, limitando la misma, pero esta medida está contraindicada con la humanización de las carreteras.

Si queremos humanizar las carreteras, no pensemos solo en los usuarios vulnerables que están allí presentes, que utilizan y tienen todo el derecho a utilizar las carreteras, sino pensemos en todas las personas de la zona. Se trata de carreteras convencionales, de carreteras rurales, en zonas donde hay poca población. No hay que olvidar que la carretera hace una función totalmente humana para facilitar el acceso lo más rápido posible a la sanidad, a la educación, el acceso para el suministro de alimentos, medicinas y mercancías, entre otros.

No deberíamos utilizar indiscriminadamente el comodín de reducir la velocidad. En su lugar, debemos desarrollar y utilizar soluciones dinámicas de esas dos cajas de herramientas que verdaderamente faciliten esa seguridad vial inclusiva, pero no penalicen a la población local.

Como conclusión, la humanización de las carreteras también afecta a todas las personas que residen en ese entorno: un ciclista puede desplazarse por allí, al igual que un peatón puede optar por realizar una ruta deportiva o de ocio en una zona en la que, en realidad, no reside. En estas carreteras rurales, se encuentra la mayor parte del proceso de humanización de la carretera, un proceso que ha de estar diseñado y gestionado también para el beneficio de las personas que viven en la zona. Habría que enfatizar esta idea, ya que el uso excesivo de ese comodín de limitar la velocidad de forma permanente puede ser perjudicial en términos humanos, y creo que sus consecuencias pueden ir en contra de la humanización que se pretende. ❖

Acondicionamiento de carreteras en entornos difíciles N-260. Tramo Congosto de Ventamillo– Campo



Upgrading of roads in challenging areas

Rafael López Guarga

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director de las Obras

Iñigo Pérez Martínez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Adjunto a la Dirección de Obra

Gabriel Sola Munarriz

Ingeniero en Geodesia y Cartografía Dragados

Se describen de forma sintética las obras correspondientes al acondicionamiento de un tramo de 12 km del Eje Pirenaico, carretera N-260, entre el Congosto de Ventamillo y Campo (Huesca), que discurre junto al río Ésera, y que sirve de acceso al valle de Benasque, entorno de orografía complicada por lo escarpado del terreno y de alto valor medio ambiental, tanto por su flora como por su fauna, condicionantes que han dado lugar a un procedimiento de actuación complejo, teniendo siempre en cuenta la preservación del medio y la mínima afección al mismo.

The upgrading works conducted on a 12 km length section, between Congosto de Ventamillo and Campo (Huesca), are briefly presented. This road, also named “Eje Pirenaico”, provides access to the Benasque valley running along the Ésera river. This area is characterized by a complex orography due to its steep terrain and high environmental value, in terms of both flora and fauna. These aspects have driven the complex activities of the upgrading works, where preservation of the environment was a priority along with minimizing the impact

1. Antecedentes

Los documentos más antiguos guardados en el Archivo Histórico Provincial de Huesca referentes a la carretera que discurre por el estrecho cañón del río Ésera corresponden al Acta de Replanteo previa del Proyecto en el año 1887 por lo que es de suponer que las obras comenzasen posteriormente, pro-

bablemente en 1889 tras las expropiaciones. La inauguración oficial fue el 31 de enero de 1912. Anteriormente había un camino practicable para carros

A lo largo de su existencia, debido a la complejidad técnica y al grado de protección ambiental del tramo, el trazado apenas ha sufrido modificación, salvo meras obras de conservación, presentando curvas

con radios muy estrictos, en ocasiones menores de 20 m, y una calzada con anchura variable de entre 5m y 6m que dificulta mucho el tránsito de vehículos pesados, debiendo ocupar parte del carril contrario para poder trazar las curvas y con problemas de espacio para cruzarse, que ha llevado a que históricamente se produzcan numerosos incidentes.

Los primeros pasos relacionados con una mejora integral de la carretera se dieron con ocasión del Plan General de Carreteras 1984/91 que incluyó un Proyecto suscrito en 1990 que consideraba radios mínimos de curvatura de 250m y la construcción de 10 túneles y 6 estructuras, sin embargo, por problemas presupuestarios esta actuación no llegó a ejecutarse. Habría que esperar hasta el año 2007 en el que se dictó la Orden de Estudio para la redacción del Proyecto denominado «Acondicionamiento de la carretera N-260. Tramo Congosto de Ventamillo – Campo. PK 388,100 a PK 404,15», que se dividía en tres tramos, el primero entre la población de El Run y el cruce del río Ésera, el segundo coincidente con el Congosto de Ventamillo propiamente dicho y el tercero el correspondiente a las obras en cuestión, en el que inicialmente se planteaban soluciones que incluían grandes túneles y viaductos para cruzar el Ésera, tal y como se había previsto en la solución de 1990.

Una vez analizado el Proyecto de Trazado, el Estudio de Impacto Ambiental, el resultado de la Información Pública y las consultas a las administraciones ambientales afectadas, el Órgano Ambiental consideró que las obras en la carretera N-260 iban a generar impactos muy severos sobre el medio ambiente y que la actuación en los tres primeros kilómetros del tramo, incluido el Congosto de Ventamillo, podía causar la destrucción o alteración del hábitat de interés comunitario y la pérdida de especies prioritarias.

Por ello, pasada toda la tramitación ambiental, con fecha 20 de enero de 2014 se publicó la Declaración de Impacto Ambiental para el tramo Congosto de Ventamillo-Campo, sin incluir los tres primeros kilómetros inicialmente previstos

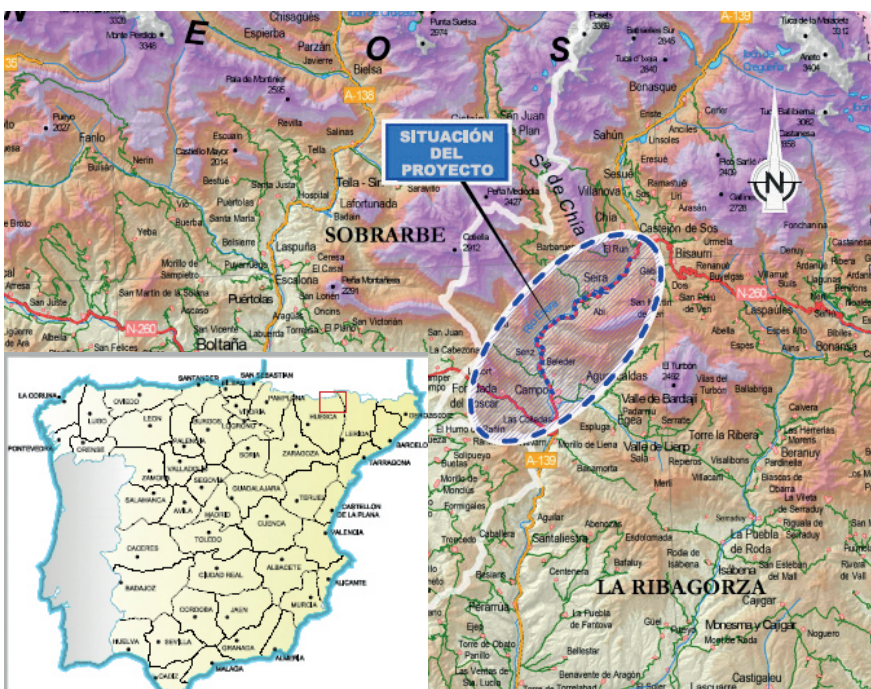


Figura 1. Situación de la actuación

entre El Run y el final del Congosto de Ventamillo.

El Proyecto de Construcción de “Acondicionamiento de la N-260. Tramo: Congosto de Ventamillo - Campo”, fue aprobado el 2 de agosto de 2016 y las obras en él definidas fueron licitadas con fecha de 29 de abril de 2019.

Como actuación para salvar el Congosto de Ventamillo se ha previsto una Orden de Estudio para la redacción de un Proyecto que defina un túnel con una longitud prevista de 2.501m así como la mejora del trazado en sus accesos.



Figura 2. Camino del Congosto del Ventamillo hacia 1920



Figura 3. Imagen de archivo. N-260 en los años 30

2. Datos de partida

El corredor forma parte del Eje Pirenaico, constituyendo el principal acceso al valle de Benasque, al unirse por el norte con la carretera autonómica A-139 en Castejón de Sos, mientras que en el otro extremo la carretera continúa hacia Ainsa y el valle de Ordesa por el este, enlazando hacia el sur con la carretera A-140 que conduce a Graus, Barbastro y Huesca. Es por tanto la vía de acceso a una zona de gran atractivo turístico con la estación de esquí de Cerler como máximo exponente.

La carretera N-260, desde la Frontera con Francia en Port Bou a Sabiñánigo, presenta un trazado muy variado con algunos tramos muy sinuosos de montaña con calzadas estrechas y sin apenas carriles para vehículos lentos, mientras que en otros tramos ya se han acometido obras de adecuación que han permitido mejorar sus características geométricas.

El tramo que nos ocupa está comprendido entre los municipios de El Run y Campo (Huesca) y se trata de unos 12,0km de longitud que discurren por el valle del río Ésera en el que el relieve es muy abrupto, estando el cauce fuertemente encajado al atravesar formaciones calcáreas. Como se ha dicho, dado el alto valor ambiental de la zona, desde el desfiladero que supone el Congosto de Ventamillo a las grandes masas de vegetación que se observan a lo largo del discurso del río, y a la fauna que habita en su entorno, es de vital importancia que la alteración del medio sea la mínima posible.



Figura 4. Tramo de la N-260 cercano al río Ésera

Tráfico

El tramo actual cuenta con una IMD de 2.557 veh/día, con un 5,8% de vehículos pesados, unos 148 vehículos entre camiones y autocares. Hay que tener en cuenta que sobre todo en los meses estivales y también en los meses de invierno, debido al turismo de la nieve, fundamentalmente los fines de semana, se producen puntas de aforo que pueden llegar a triplicar el tráfico habitual. Este hecho junto con lo sinuoso del trazado actual y la imposibilidad del cruce de vehículos pesados en muchos puntos de la plataforma, debido a la escasez de anchura disponible, hace que se produzcan retrasos y retenciones, afectando a la comodidad de los usuarios y a la fluidez de sus desplazamientos.

El año horizonte del Proyecto es 2040, esperándose que dada la idiosincrasia de la zona, una vez acondicionada la carretera, el tráfico se incremente considerablemente, por encima de lo previsto, ante el constante desarrollo y aumento de la oferta turística de este territorio.

El Pliego del Proyecto establece que las obras deben realizarse manteniendo el tráfico rodado, salvo que se logre un acuerdo con el territorio y las instituciones para realizar cortes totales de la carretera en primavera,

entre el 1 de abril al 30 de junio (3 meses), y en otoño, del 1 de octubre al 1 de diciembre (2 meses).

La obra se ha tratado de ejecutar manteniendo el tráfico, aunque en algunos casos haya sido de modo alternativo, y minimizando en la medida de lo posible los cortes totales de la carretera. No obstante ha habido actuaciones, como la colocación de las losas prefabricadas o la ejecución de algunos desmontes, que no era posible acometerlas sin tener la carretera cortada. Cuando esto ha sucedido se han planificado los trabajos para minimizar la duración del corte lo máximo posible, se han establecido y señalado itinerarios alternativos, se han mantenido reuniones de información con alcaldes, empresarios y representantes del territorio, y se han ajustado con ellos las fechas de los cierres, asegurándose siempre el paso de vehículos en caso de emergencias. Sin embargo, es evidente que el corte total de la carretera supone un perjuicio importante para los vecinos del entorno, así como una incomodidad para el turismo, motor principal de la economía del valle, por lo que se ha tratado siempre de establecer un equilibrio entre la ejecución de los trabajos y el mantenimiento del tráfico, lo que en ocasiones no ha resultado fácil.



Figuras 5 y 6. Dificultades para el paso de camiones

Dado el escaso espacio disponible y las exigencias ambientales del medio, el mantenimiento del tráfico durante las obras en condiciones de seguridad está siendo sin lugar a dudas uno de los principales condicionantes de los trabajos.

Condicionantes geológico-geotécnicos

La complicada orografía del tramo ha impuesto a su vez condicionantes de tipo geológico-geotécnico, destacando la existencia generalizada de afloramientos de roca en todo el tramo, en unos casos con taludes naturales muy verticales, que ha hecho inviable en muchas ocasiones su excavación, y en otros casos con la existencia de depósitos cuaternarios y derrubios de ladera consecuencia del efecto hielo-deshielo, en algunos tramos de gran potencia, cuya excavación podría suponer riesgos de deslizamiento de los mismos.

El Proyecto preveía la ejecución de voladuras en una parte importante de la obra. Sin embargo, la ejecución de las mismas no siempre ha sido posible, debido unas veces a las

restricciones ambientales, otras a la falta de espacio para albergar el volumen de roca movilizado con el consiguiente riesgo de caída de material al río, y otras a condicionantes externos como la presencia de la presa de Argoné que ha hecho necesario imponer limitaciones a las vibraciones.

Espacios Naturales de Interés Ambiental y paisaje

La mayor parte del Proyecto, alrededor de 9 km, se encuentra dentro del Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) “Sierra de Chia-Congosto de Seira”, en el que destaca la entidad geomorfológica del cañón glaciofluvio-kárstico de la parte meridional del río Ésera, sobre el que se asientan comunidades rupícolas de gran interés, con los siguientes Hábitats de Interés Comunitario destacados: HIC-3240 “Río alpinos con vegetación leñosa en sus orillas de *Salix eleagnos*”, HIC-9180* “Bosques laderas abruptas, desprendimientos o barrancos del Tilio-Acerion”, HIC-92A0 “Bosques galería de *Salix alba* y *Populus alba*” y HIC-9340 “Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*”.

En el entorno del tramo se localizan también dos áreas declaradas como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA): “Cotiella-Sierra Ferrera”, cuyo límite coincide con la carretera actual, y “El Turbón y Sierra de Sís”, a unos 300 metros al este de la carretera. Respecto a la avifauna destaca la asociada a las rocas, con importante presencia de grandes rapaces que incluye al quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), águila real (*Aquila chrysaetos*), alimoche (*Neophron percnopterus*) y buitre leonado (*Gyps fulvus*).

En el río Ésera hay presencia de nutria (*Lutra lutra*) mamífero catalogado como “Sensible a la alteración de su hábitat” en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.

En cuanto a flora en el Congosto de Ventamillo se encuentra la especie *Petrocoptis pseudoviscosa* catalogada como “vulnerable” en el catálogo de especies amenazadas de Aragón. Aunque en el EsIA se realizó un estudio específico con objeto de localizar su posible presencia y valorar su afección concluyendo que el trazado no la afectaba, durante la ejecución de las obras se ha localiza-

do un ejemplar, que se ha protegido para evitar que fuera dañado durante las obras.

Con todo ello el abrupto paisaje que se configura tiene un alto valor ambiental que se percibe claramente incluso antes de iniciar el trazado. Las altas y escarpadas paredes labradas con el lento discurrir del tiempo y la acción del río Ésera, los bosques de vegetación de ribera y de alta montaña incrustados en estas laderas y la fauna que se cobija en estos parajes aportan un gran interés natural a la zona.

Condicionantes medioambientales

La Declaración de Impacto Ambiental recoge en su condicionado una serie de actuaciones que se han incluido en el Proyecto y que son de aplicación a las obras en ejecución. Entre las medidas previstas de protección a la vegetación, a la fauna y al patrimonio cultural y de restauración ambiental caben señalar especialmente las siguientes:

- Restricciones temporales: se establecen dos zonas de exclusión temporal de obras (Zona A: PK 2+200 a PK 4+300 y Zona B: PK 7+500 a PK 9+900) desde el 1 de enero al 30 de junio, de acuerdo a los periodos de nidificación de las especies de aves amenazadas, para voladuras o maquinaria de obra.
- Proyecto de restauración del hábitat 9180: la DIA impone como condicionante la revegetación de 5 Ha con especies propias del hábitat prioritario 9180* "Bosques caducifolios mixtos de laderas abruptas, desprendimientos o barrancos del Tilio-Acerion", con objeto de destinarlas a la compensación de las superficies afectadas por las obras.



Figura 7. Entorno ambiental de gran valor

3. Objetivos

Entre los objetivos básicos del acondicionamiento de la carretera N-260 se encuentran: la adecuación del trazado a la Norma 3.1-IC "Trazado", el incremento y la homogeneización de la anchura de plataforma para dotar carriles de circulación adecuados, que posibiliten el cruce de vehículos pesados, y el incremento de la seguridad vial con la instalación de barreras, pretilos, arceños... todo ello respetando el entorno natural.

El trazado encajado se corresponde con una carretera con $V_p=60\text{km/h}$, no obstante teniendo en cuenta que se trata de una carretera de montaña, que discurre por espacios naturales de alto valor ambiental, y que se trata de acondicionar un trazado muy sinuoso en el que hay que adaptarse a los bordes de la plataforma existente, ha sido necesario ser flexibles en el cumplimiento de alguno de los parámetros exigidos por la normativa. Se han intentado cumplir las prescripciones siempre que ha sido posible y

cuando ello no lo ha sido se ha justificado adecuadamente, adoptándose las medidas más adecuadas. La propia Norma 3.1 IC establece: "En proyectos de carreteras urbanas, de carreteras de montaña y de carreteras que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental o acusada fragilidad y de mejoras locales en carreteras existentes, podrán disminuirse las características exigidas en la presente Norma justificándose adecuadamente".

Hay que tener en cuenta que el fin último de las mejoras que se están llevando a cabo no es el de aumentar la velocidad de circulación en el tramo, muy difícil dada la orografía de la zona y los condicionantes ambientales, sino proporcionar a los usuarios una vía más segura y respetuosa con el territorio, ofreciendo una conducción más cómoda y fluida.

También es importante que el conductor sea capaz de percibir el entorno en el que se encuentra, de orografía singular, de gran belleza y valor paisajístico, y de constatar que la carretera se adapta a estos condi-

cionantes de forma homogénea, sin variaciones bruscas en su trazado y en sus características geométricas, evitando con ello situaciones de peligro.

4. Parámetros de proyecto y actuaciones

A grandes rasgos, los conceptos básicos que se han utilizado para la definición del Proyecto son:

- Tras el proceso de evaluación ambiental se establece una sección tipo de 8 metros de ancho (2 carriles de 3,20/3,50m y 2 arcenes de 0,80/0,50m) más los sobrecanchos de curva necesarios.
- El trazado se ajusta en la medida de lo posible hacia el lado del río, para minimizar la ejecución de grandes desmontes en la margen izquierda de la carretera. Ello implica la ejecución de voladizos en una longitud muy importante del trazado (3.165 m) para ganar el espacio necesario de la plataforma.
- Refuerzo del firme entre el pk 388,100 y el pk 391,580 que constituye el Congosto de Ventamillo propiamente dicho.
- Mejora y adecuación de la travesía de Seira (1,07 km), manteniendo las condiciones actuales de anchura compatible con el plan urbanístico.
- Actuación en la intersección de Senz y Viu al objeto de mejorar sus condiciones de seguridad.
- Ejecución de dos túneles, de 324 y 568 metros respectivamente, cuyos emboquilles se proyectan con paraguas pesados para evitar grandes desmontes, previendo la integración estética de los mismos. Los túneles se dotan con las instalaciones de seguridad y

con los equipamientos previstos en el RD 635/2006.

- Construcción de dos estructuras de 104,4m y de 31m de longitud respectivamente.
- Ejecución de cuneta revestida en el margen izquierdo (lado montaña) de 1,33m y una berma de 0,50m en el margen derecho (lado río) para colocación de barreras de seguridad.

Para ello, al objeto de asegurar los requerimientos funcionales, territoriales, paisajísticos y ambientales, se adoptan los parámetros siguientes:

- Velocidad de proyecto: 60 km/h;
- Sección transversal de 0,80/0,50 – 6,40/7,00 – 0,80/0,50m;
- Radio mínimo: 65m;
- Parámetro mínimo en curva de transición: A = 25 m;
- Adaptación de la rasante para la implantación de los voladizos y muros que permitan el ensanche de la plataforma, compatible con la gestión del tráfico acorde con el territorio en las diferentes épocas del año.

5. Soluciones constructivas

Como se ha indicado, la posibilidad de ejecutar la carretera ampliando la plataforma por la margen izquierda es inviable debido al volumen de desmonte en roca a ejecutar, por lo que se ha recurrido al ensanche hacia la margen del río Ésera con la construcción de muros de relleno o voladizos.

Muros

Los muros tienen diferentes finalidades y tipologías según la margen

en la que se encuentren:

- Los muros del lado izquierdo tienen como objetivo evitar los eventuales desprendimientos de material de la ladera que pudieran producirse invadan la carretera o proteger las boquillas de las obras de drenaje. En general se trata de muros de hormigón en ménsula o muros de escollera.
- Los muros del lado derecho tienen como finalidad contener las tierras para que éstas no invadan el río o bien evitar la ocupación de elevadas superficies con el consiguiente impacto ambiental. En este caso se trata de muros de hormigón convencionales.

Voladizos

Los voladizos se ejecutan para ganar terreno al río por la margen derecha hasta obtener un ancho de plataforma de 8,70 m. El vuelo varía desde los 2,00 m hasta un máximo de 6,50 m, obteniéndose en los casos de mayor anchura, al objeto de evitar el vuelco, una disponibilidad superior a la de la plataforma, que queda a modo de berma

Los condicionantes del ancho de la plataforma existente de entre 5 y 6 m no permiten la ejecución de los voladizos in situ por fases manteniendo tráfico alternativo ya que ello implica la necesidad de disponer una anchura mínima de plataforma de 7,20 m para garantizar una zona de trabajo segura y en caso contrario acometer excavaciones adicionales en desmontes verticales, actuación contraria a las prescripciones de la DIA. Por otra parte realizar estos voladizos con el corte total de calzada implica largos periodos de corte dado el pequeño rendimiento que es posible alcanzar con el consiguiente aumento de plazo.

Todo ello ha llevado a definir estas estructuras de tipo voladizo mediante elementos prefabricados en 2.971 m del trazado. Se trata de losas cuya sección es la de la carretera, ampliándose como ya se ha dicho hasta los 10,45 m de anchura para el vuelo máximo, con espesores comprendidos entre 30 y 50 cm y ancho máximo de 2,40 m. Los apoyos delanteros (lado río) y traseros (lado montaña) se materializan con cabeceros cimentados en micropilotes de diámetro $\varnothing 225\text{mm}$.

El proceso de ejecución comienza con la perforación de los micropilotes, tanto delanteros como traseros, manteniendo el tráfico con las precauciones necesarias debido al polvo producido en las perforaciones y a las salpicaduras y proyecciones de detritus.

Posteriormente se ejecutan las riostras (cabeceros de los micropilotes sobre los que apoyan las losas), siempre que sea posible, si

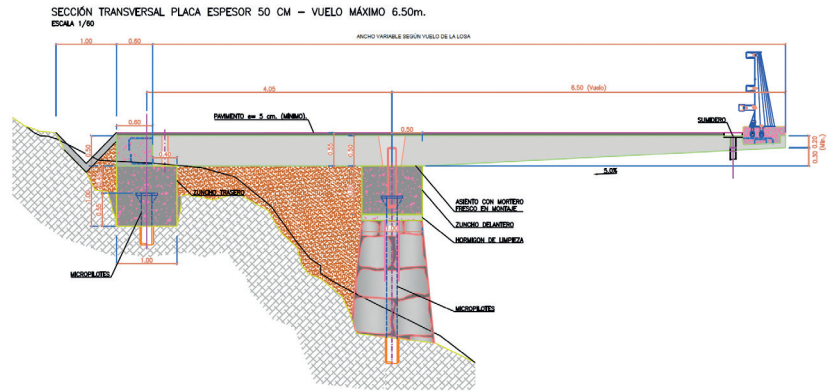


Figura 8. Sección tipo de voladizo para vuelo máximo de 6,5m



Figura 9. Perforación de micropilotes. Durante el proceso se producen salpicaduras que afectan al tráfico

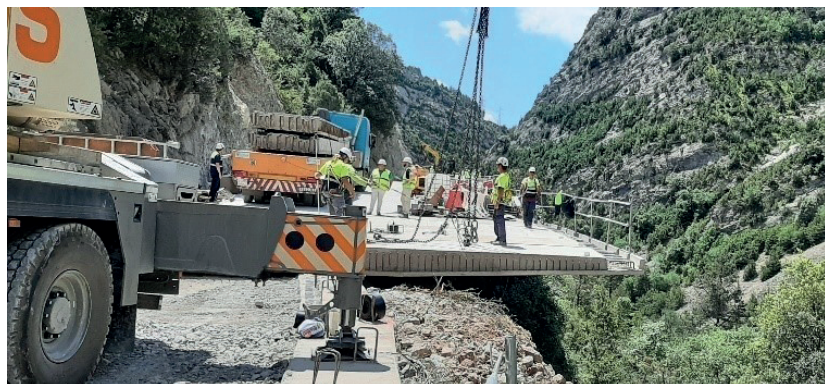


Figura 10. Puesta en obra de las placas prefabricadas de los voladizos.

hay espacio suficiente, manteniendo el tráfico en modo alternativo por el lado río, llevando a cabo la excavación, encofrado, armadura y hormigonado para posteriormente taparla y así poder pasar a la ejecución de la riostra delantera, pasando el tráfico al lado de la montaña circulando sobre la riostra ya ejecutada. Ello ha sido posible en muchos tramos pero en algunos no, lo que ha obligado a la ejecución de una de las riostras o de las dos durante un periodo de corte.

Una vez realizadas las riostras ya se está en disposición de colocar las losas prefabricadas para lo que inevitablemente es necesario el corte total de la carretera. Una vez apoyadas se arma y hormigona el zuncho trasero de unión de las losas con la riostra trasera y las uniones con la riostra delantera, además de las juntas transversales entre losas.

La última fase corresponde a la ejecución del plinto de apoyo del pretil e instalación de éste, a la impermeabilización de la superficie del tablero, las juntas de dilatación y el afirmado.

Estructuras

Además se hace necesaria la ejecución de 2 estructuras para salvar la orografía del terreno en sendos puntos del trazado en los que no es posible construir voladizos por su elevado vuelco.

Así la primera estructura se dispone en un tramo en variante respecto a la plataforma existente en el que tampoco es posible disponer un terraplén por su cercanía al río Ésera y las afecciones ambientales que ello conlleva. Se trata de un puente de 104,4 m de longitud de 5 vanos de luces entre 20,55 m y 21,10 m, cuyo tablero está constituido por una sola viga cajón prefabri-

cada tipo artesa y losa de compresión de 25cm de espesor mínimo. Las vigas apoyan en sendos cargaderos pilotados ($\varnothing 1,50\text{m}$) y en tres pilas-pilote ($\varnothing 1,50\text{m}$).

Para salvar un pequeño barranco, situado inmediatamente antes del segundo de los túneles, se construye una estructura de un solo vano de 31m de longitud cuyo tablero está formado por 7 vigas doble T prefabricadas y losa de compresión de 25cm, apoyadas en estribos cargaderos con cimentación superficial.

Esta segunda estructura ya está en construcción y en cuanto a la primera se está analizando el impacto en el entorno dadas las dificultades de su ejecución ante el condicionado de mantener el tráfico que hace necesaria la construcción de un desvío provisional.

Túneles

Como ya se ha indicado, el acondicionamiento de la carretera lleva consigo la construcción de dos túneles de longitudes 324 m y 568 m respectivamente, disponiendo el primero de una pendiente del 2,8% y el segundo del 4,50%. Las características de la sección transversal son:

- Superficie de excavación: 84,32m² y libre 68,50m²;
- Gálibo vertical en zonas accesibles a vehículos de 5m y de 2,70m en aceras;
- Carriles de 3,50m, arcenes de 1,0m y aceras de 0,90m;
- Bajo las aceras se disponen canalizaciones para el paso de cables de instalaciones;
- Bajo los arcenes se disponen zanjas para el drenaje longitudinal del túnel;

- En el túnel 2, en el hastial izquierdo (derecho en los primeros metros), se dispone de un colector para recogida de vertidos contaminantes;

Por otra parte, al objeto de cumplir los condicionados del RD 635/2006, el túnel 2 cuenta con una galería de evacuación peatonal de 268 m de longitud y una anchura de 3,00 m, estando constituida su sección transversal por hastiales rectos de 1,50 m de altura rematados por una bóveda de 1,50 m de radio interior.

El método de excavación seleccionado es el del Nuevo Método Austríaco, que aprovecha la resistencia remanente del terreno antes de su descompresión total. Inicialmente estaba previsto dividir la sección en dos fases de excavación: avance y destroza, sin embargo el levantamiento sistemático del frente en cada pase, el buen comportamiento del terreno encontrado y la resistencia del mismo ha permitido ajustar la excavación y los sostenimientos a la realidad, por lo que en la mayor parte de la longitud de los túneles se ha podido llevar a cabo la excavación a sección completa, habiendo sido únicamente necesario dividir la excavación en los primeros metros más cercanos a los emboquilles de ambos túneles y en algún tramo del interior del túnel 1. Especial mención merece la ejecución de los primeros metros de la boca sur del túnel 1, afectada por el deslizamiento de la ladera de acceso, al existir riesgo de colapso tanto en el frente como en los hastiales debido a la elevada fracturación, donde fue necesario adoptar precauciones adicionales en el proceso de excavación, mediante pases más cortos y el empleo de un sostenimiento especial con el empleo de cerchas tipo TH-29.

Cabe señalar que donde el terreno presentaba una peor calidad se adoptó como medida de seguridad el sellado del frente de excavación. Tal y como se preveía, los emboquilles se han llevado a cabo mediante paraguas de micropilotes, presentando la singularidad de que el emboquille norte del túnel 2 ha sido necesario ejecutarlo desde el interior debido a la falta de espacio.

Una vez completada la excavación y el sostenimiento y comprobado el gálibo disponible, se procede

a la impermeabilización y al revestimiento con hormigón HM-30. Previamente es necesario llevar a cabo las canalizaciones situadas en los pies de ambos hastiales.

Ambos túneles irán dotados de todas aquellas instalaciones que son requeridas para el cumplimiento al RD 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la Red de Carreteras del Estado. Así, dispondrán de iluminación (normal, seguridad y emergencia), ventilación y sensores

correspondientes, red de protección contra incendios, alimentación eléctrica con SAI y grupos electrógenos, puestos de emergencia, señalización de salidas, barreras y semáforos exteriores, red de fibra óptica y conexión con el Centro de Control de Monrepós.

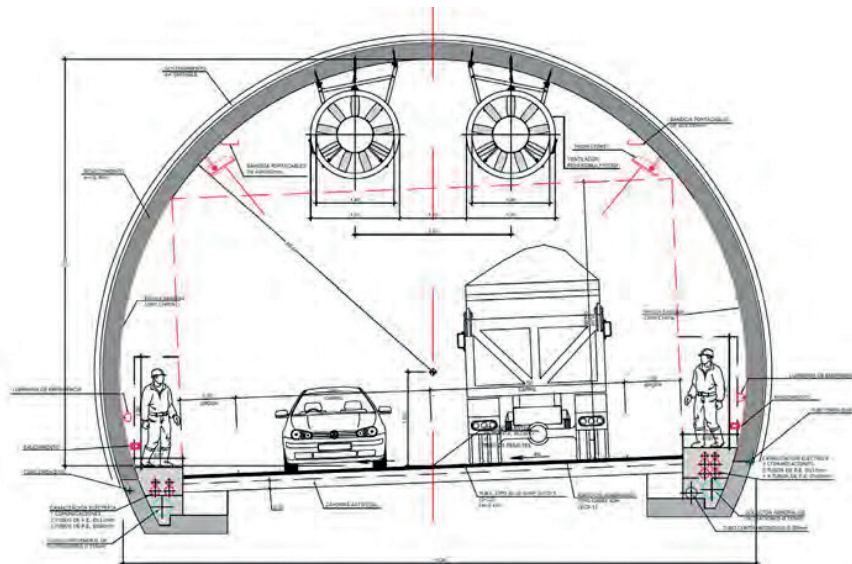


Figura 11. Sección tipo de túnel



Figura 12. Sección túnel 2



Figura 13. Replanteo de la galería de evacuación

Ampliación del drenaje y pasos de fauna

Al ampliar el ancho de la plataforma de la carretera es preciso que también se amplíen las longitudes de las Obras de Drenaje Transversal existentes, que a su vez en los casos en los que sea preciso servirán para paso de fauna. Cada una de ellas cuenta con su propia geometría y se repone y amplía tal cual en función de su estado de conservación.

Además, se ha ejecutado otro paso de fauna en la D.O. 4+330 de hormigón armado, con una altura interior de 2,50m.



Figura 14. Paso de fauna

6. Otras actuaciones

Actuaciones en la Travesía de Seira

Al objeto de no alterar las condiciones urbanísticas del tramo de la travesía de Seira se llevarán a cabo las siguientes intervenciones:

- Fresado y reposición del pavimento existente con 5cm de mezcla bituminosa en caliente, previo saneo localizado de blandones en algunos puntos hasta una profundidad de 0,50m.
- Acondicionamiento de bermas, revestimiento de cunetas con hormigón HM-20 y formación de ríoglas.
- Acondicionamiento de las aceras y zonas peatonales mediante el empleo de materiales similares a los existentes en aquellos casos en los que sea necesario, realizando actuaciones localizadas y completándolas donde se requiera, dando continuidad a los itinerarios
- Limpieza y desherbado de la totalidad de los márgenes.



Figura 15. Entrada a Seira

Reparación del deslizamiento del talud de acceso al emboquille sur del túnel 1

El 20 de abril de 2021 se produjo un deslizamiento de gran magnitud en el desmonte D-28 correspondiente al emboquille sur del túnel 1, quedando el material depositado sobre la calzada y parte de la ladera del río Ésera, que dio lugar al corte total de la carretera. Afortunadamente en el momento del deslizamiento se había detenido la excavación con medios mecánicos, al coincidir con la hora de la comida de los operarios, no habiéndose producido daños personales, pero sí materiales al quedar una

retroexcavadora sepultada bajo el material desprendido.

Tras el estudio del problema, con el apoyo de la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras, se adoptó la siguiente solución:

- Actuaciones previas, desbroce y tala de arbolado desde el arranque del talud hasta la visera que se había generado al objeto de conocer el estado de la ladera.
- Saneo de bloques y estabilización provisional del talud desde el arranque hasta la visera: se procedió al saneo de los bloques sueltos e inestables, avanzando desde la parte superior para pos-

teriormente colocar una malla de triple torsión y una red de cables cosidas al terreno con bulones en malla de 3x3 y longitudes de 3, 6, 9 y 12m.

- Trabajos en la visera (zona 1) y por debajo de ella hasta la plataforma P (zona 2): se procedió primero a estabilizar el talud de forma provisional para lo que se sanearon y retiraron los grandes bloques y se colocó malla de triple torsión y red de cable ancladas al talud mediante bulones de 3 metros y diámetro 25 mm.
- Creación de una plataforma de trabajo y caballón provisional mediante la colocación de un muro de escollera para aportar peso en el pie del talud y contribuir a la estabilización de la ladera, liberando la calzada de la carretera.
- Construcción de un camino de acceso a la plataforma de trabajo (P) habilitado a través del desmonte contiguo (D29) para poder acceder a la zona de trabajo, una vez estabilizada la parte superior, sin afcción al tráfico.
- Reposición del firme de la carretera y elementos de seguridad para la reapertura al tráfico
- Estabilización definitiva de la parte alta de los taludes lateral y frontal hasta la plataforma de trabajo mediante anclajes activos de 12 metros con bulones Gewi de diámetro 32 mm, colocación de mallazo en dos capas y aplicación de hormigón proyectado.
- Una vez estabilizado el talud se procedió a su Instrumentación y Auscultación para lo que se monitorizó la zona con lecturas cada 10m y así poder detectar eventuales movimientos y aviso de alarma vía móvil en caso de superación del rango establecido.



Figura 16. Imagen del deslizamiento y sus consecuencias

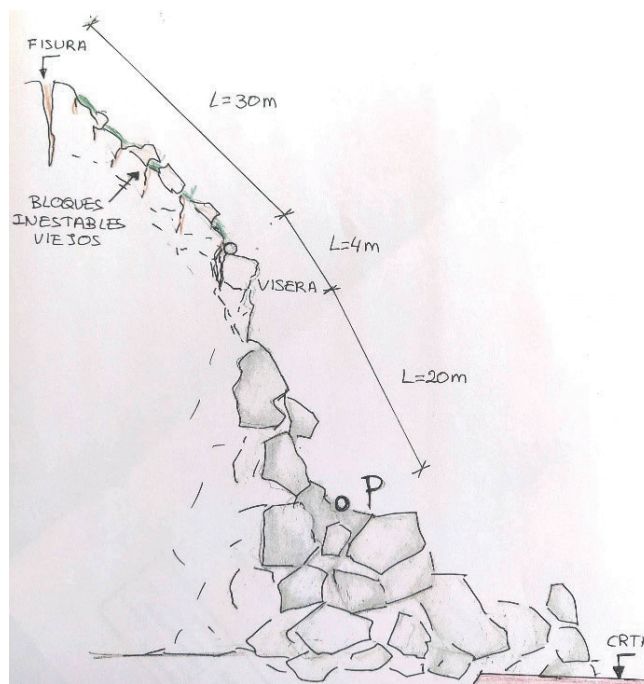


Figura 17. Croquis del talud tras el desprendimiento

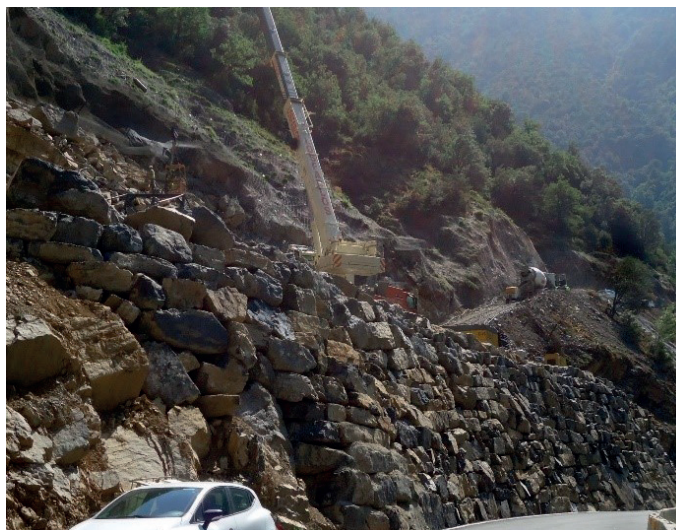


Figura 18. Muro de escollera para generar la plataforma de trabajo

- Una vez estabilizada la parte superior, demolición y retirada por capas de la plataforma de trabajo y del muro de escollera.
- Estabilización de los taludes por debajo del punto P hasta la rasante de la carretera: según se iban desmontando las distintas capas (3,00 m) de la plataforma, continuó el proceso de estabilización, finalizando con una fila de anclajes permanentes de doble protección $\varnothing 32\text{mm}$ y una viga de atado.
- Refuerzo del machón entre el túnel 1 y la carretera consistente en bulones de 12 m y 6 m con doble mallazo y hormigón proyectado.
- Por razones de seguridad vial, aunque en principio con las actuaciones llevadas a cabo el talud queda estabilizado, se decidió prolongar el túnel mediante una estructura de hormigón a modo de galería en una longitud de 64 m.

tuaciones para preservar el tramo de posteriores incidencias. Concretamente se ha realizado lo siguiente:

- Reposición de la carretera y del muro de contención: Para ga-

rantizar la estabilidad del muro, tanto en la zona directamente afectada por el desprendimiento como en las zonas contiguas, se ha protegido el trasdós mediante la ejecución de unos micropilotes



Figura 19. Caída de un bloque de roca sobre la carretera

Protección frente a desprendimientos y reparación de daños producidos en el Congosto de Ventamillo

El 24 de febrero de 2021 se produjo un desprendimiento de gran magnitud a la altura del pk 389+900 de la carretera N-260, en el tramo del Congosto de Ventamillo. Como consecuencia del mismo, la calzada quedó afectada y una parte de la plataforma quedó rota por la caída de los bloques a gran altura, produciéndose asimismo la rotura del muro de sostenimiento de mampostería allí existente.

En esta zona de la carretera los taludes verticales se inclinan en contrapendiente y se forma una “visera natural” que reduce aún más la anchura de circulación, por lo que a consecuencia de este suceso se decidió acometer una serie de ac-



Figura 20. Galería dinámica

de 200 mm de diámetro, con una separación entre sí de 1,5 m. La reposición de la calzada se materializó mediante la ejecución de losas prefabricadas, similares a las ejecutadas en la obra principal, en una longitud total de 140m. En esta operación se aprovechó para dar un sobreebanco y crear un apartadero que permita el cruce de los camiones y las operaciones de mantenimiento.

- Actuaciones en el talud: Básicamente las actuaciones realizadas en el talud consistieron en sanear y sujetar posibles bloques inestables y en implantar barreras dinámicas de protección frente a desprendimientos. En función de la altura y la topografía, las trayectorias que pueden seguir los bloques en episodios de desprendimientos serán muy distintos por lo que en función del relieve del talud se definieron 3 soluciones tipo:
 - o Sistema de defensa activa frente a desprendimientos (redes de cable y bulones)
 - o Sistema de defensa pasiva frente a desprendimientos (Galería dinámica)
 - o Sistema de defensa pasiva frente a desprendimientos (Pantalla dinámica)
- Mejora de gálibo y visibilidad: debido a la verticalidad de las paredes y su contrapendiente, el ancho realmente útil de la calzada se reduce y algunos de los vehículos pesados se alejan de la margen lado montaña ante el temor de rozar con el terreno. Por ello se ha procedido a reperfilado en algunas zonas con martillo picador.

7. Conclusión

El Proyecto, fruto de la necesidad de la mejora del trazado y del aumento de la seguridad, se redactó teniendo en cuenta el medio atravesado y las demandas del territorio, buscando en todo momento la integración con el entorno y procurando un impacto mínimo teniendo siempre presente la variable medioambiental. Asimismo la ejecución de las obras se está llevando a cabo bajo estas premisas, intentando el mejor equilibrio posible entre las necesidades de los trabajos y la minimización de las afecciones al tráfico, en particular optimizando los cortes totales de carretera, ante el importante trastorno

que suponen para los habitantes y sus consecuencias para la economía de la zona, basada principalmente en el turismo. Por ello, desde estas líneas aprovechamos para agradecer a los ciudadanos y empresarios la enorme paciencia que están teniendo al soportar estoicamente las alteraciones en el devenir diario que las obras están ocasionando

De esta forma se ha tardado más de una centuria, anteriormente sólo se habían llevado a cabo pequeñas obras de conservación y alguna mejora puntual, para disponer de una carretera con una calzada, que aunque sólo de 8,00m de anchura por razones ambientales, permite el tráfico bidireccional y el cruce de

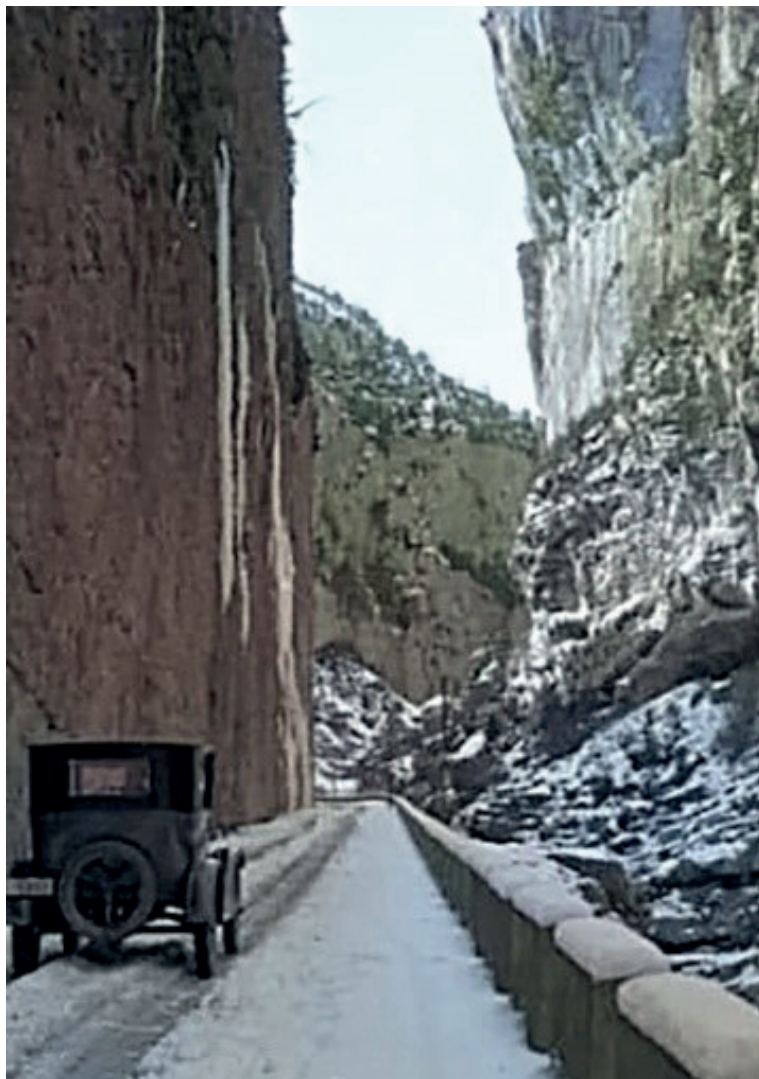


Figura 21. Carretera del Congosto. Años 30

los actuales vehículos pesados sin necesidad de maniobras, actuación que redundará en una mejora del desarrollo empresarial y turístico del territorio.

Pendiente queda la construcción del túnel de Ventamillo, que salve definitivamente el paso del Congosto con ancho de calzada estricto y riesgo de caída de rocas, aunque ahora minimizado con las acciones llevadas a cabo, con la esperanza de que pueda ser una realidad en los próximos años.

El presupuesto vigente de las obras asciende a 75 M€.

8. Agradecimientos

Desde estas líneas hay que agradecer a la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana el que haya impulsado esta importante actuación desde su inicio con la Orden de Estudio para la redacción del Proyecto hasta la licitación de las obras, y la participación y contribución de Dragados, empresa constructora adjudicataria de las obras, especialmente a su personal que día a día ha vivido las vicisitudes de los trabajos, de Intefir, Asistencia Técnica a la Dirección de Obra, y de Intecsa-Inarsa ingeniería que redactó el Proyecto de licitación, debiendo hacer una mención especial a la empresa Strucres por su intervención en el cálculo de las estructuras definitivo. ❖



Figura 22. Estado de la carretera previo a la actuación (2015)



Figura 23. Tramo actual ya prácticamente acondicionado.

Panorámica de las mezclas bituminosas en carreteras en España. Reseña histórica



Overview of bituminous mixtures on roads in Spain. Historical review

GT9 Mezclas Bituminosas
Comite de Firms ATC

En La evolución de las mezclas bituminosas va unida al desarrollo de la movilidad por carretera. En los últimos 100 años se han convertido en el material de referencia del sector de la pavimentación, habiendo incorporado mejoras en sus características para poder satisfacer las necesidades adicionales que han ido surgiendo a lo largo de los años. A los requisitos tradicionales de resistencia, seguridad y comodidad, se han ido uniendo los de sostenibilidad, resiliencia y conectividad.

¿Cuál era la situación de partida y cómo se ha llegado a la situación actual? ¿Cuál ha sido la evolución de las mezclas bituminosas en estos últimos años?

Pues bien, este artículo es un resumen del documento elaborado en el Grupo de Trabajo 9 “Mezclas Bituminosas” del Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras denominado “Evolución histórica de las mezclas bituminosas”, donde se trata de dar una visión de esta evolución teniendo en cuenta los aspectos que tienen influencia en estos productos, desde la fabricación y puesta en obra, con sus avances tecnológicos, hasta el diseño y control de calidad de los productos fabricados.

The evolution of bituminous mixtures is linked to the development of road mobility. In the last 100 years they have become the reference material in the paving sector, having incorporated improvements in their characteristics in order to satisfy the additional needs that have arisen over the years. To the traditional requirements of resistance, security and comfort, those of sustainability, resilience and connectivity have been added.

What was the starting situation and how did it get to the current situation? What has been the evolution of bituminous mixtures in recent years?

This article is a summary of the document prepared in Working Group 9 “Bituminous Mixtures” of the Pavement Committee of the Asociación Técnica de Carreteras called “Historical evolution of bituminous mixtures”, which tries to give a vision of this evolution taking into account the aspects that have an influence on these products, from manufacturing and laying, with its technological advances, to the design and quality control of the manufactured products.

El Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras está trabajando, de acuerdo con su Plan de Actividades para el ciclo 2020-2023, en diferentes direcciones tendentes a recopilar la información disponible de las diferentes tecnologías aplicables a la fabricación de mezclas bituminosas. Con el objetivo de la aplicación del Nuevo Enfoque para el diseño, fabricación y extendido de mezclas bituminosas que contempla, además de los requisitos tradicionales de resistencia, seguridad y comodidad, los de sostenibilidad, resiliencia y conectividad, uno de los temas básicos contemplados es la presentación de una panorámica general de las distintas posibilidades tecnológicas existentes actualmente en España para su aplicación en firms de carreteras.

De este trabajo, extenso y probablemente interminable, se ha encargado el grupo de trabajo sobre “Mezclas Bituminosas”.

Como punto de partida, se ha elaborado una reseña histórica que puede ayudar a comprender cuál ha sido la evolución en los últimos años de las mezclas bituminosas, así como la tecnología relacionada con ellas, para llegar a la situación actual. Este artículo pretende ser un resumen del documento redactado, donde se puede encontrar una información más completa.

Creo que es de justicia felicitar al grupo de trabajo por su esfuerzo y por la brillantez del resultado cuya lectura espero que os permita como a mí pasar un buen rato de relajación y aprendizaje y os anime a leer el documento completo.

Javier Payán de Tejada
Presidente del Comité de Firms

1. Introducción

En aproximadamente 100 años, las mezclas bituminosas se han convertido en el material de referencia del sector de la pavimentación, estando su uso ligado a la aparición y desarrollo de los vehículos a motor. Así, en las primeras etapas, eliminar el polvo generado por el tránsito fue la principal prioridad. Poco a poco se incorporaron necesidades adicionales como la de tener carreteras con capacidad suficiente para el creciente tráfico de vehículos pesados, proporcionar el necesario confort en la rodadura o garantizar la seguridad vial.

En las últimas décadas, se han incorporado a la lista de necesidades las cuestiones ambientales, como son el impacto medioambiental de su construcción, mantenimiento y al final de su vida útil, la reducción de las emisiones totales de efecto invernadero debidas tanto a la carretera como al transporte, así como la mejora de su resiliencia frente al cambio climático. Por otra parte, también se está trabajando en incorporar nuevas funcionalidades, no habituales en pavimentación, como puede ser la capacidad descontaminante, el control del agua de escorrentía, o la captación de energía, entre otras.

Las mezclas bituminosas pueden ofrecer infinidad de soluciones a los retos que se plantean actualmente. Pero, ¿cuál era la situación de partida y cómo se ha llegado a la situación actual?

¿Cuál ha sido la evolución de las mezclas bituminosas en estos últimos años?

Pues bien, el documento denominado “Panorámica de las mezclas bituminosas en carreteras; breve evolución histórica en España” que se ha elaborado en el Grupo de Trabajo 9 de Mezclas Bituminosas, perteneciente al Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras, trata de dar esta visión teniendo en cuenta todos los aspectos que tienen influencia en estos productos, desde la fabricación y puesta en obra, con sus avances tecnológicos, hasta el diseño y control de calidad de los productos fabricados.

Así, en este artículo se pretende hacer un breve resumen del documento elaborado, tratando los principales temas comentados en el mismo.

Para empezar a entrar en materia, ¿cuáles son los antecedentes de las actuales mezclas asfálticas?

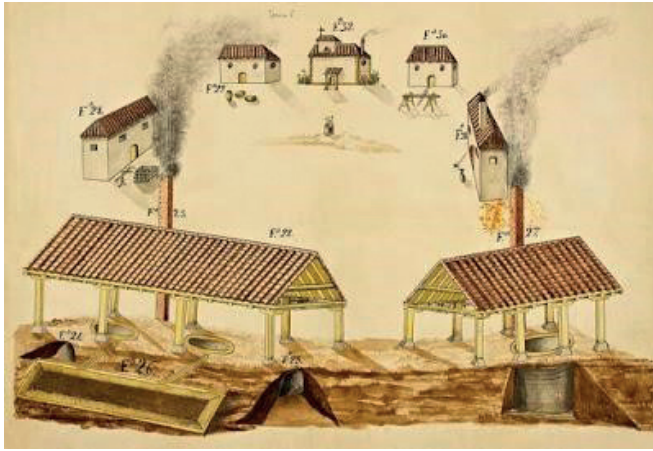


Figura 1. Asfaltos del Volcán- Factoría soriana (OEPM-1851 Privilegio 534)

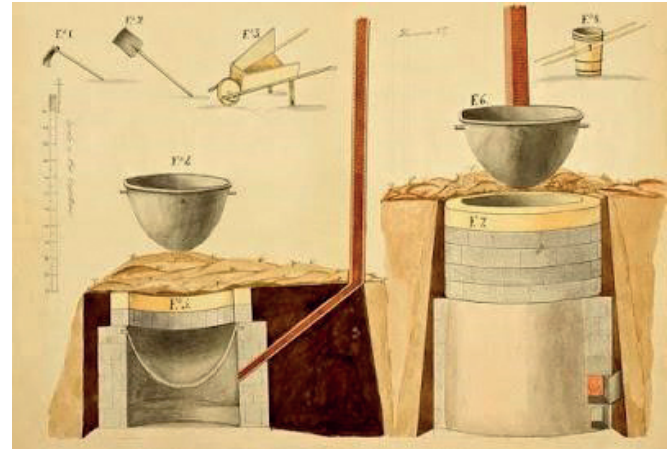
2. Antecedentes en España de las actuales mezclas asfálticas

La utilización de los asfaltos naturales comprimidos en el viario urbano llegó pronto a España, primero aplicando asfaltos naturales importados, como lo ejecutado en Madrid en el patio del Edificio de la Bolsa en la calle de La Leña (antigua Escuela de Caminos) en 1847 o en la Puerta del Sol y Ministerio de La Guerra en 1848, pero su alto coste hizo que se volviese la mirada a yacimientos nacionales como los de Soria y Álava. Así, la empresa Asfaltos del Volcán, que había montado una factoría para obtención de ligante en la aldea soriana de Fuentetoba y obtenido un Privilegio (534 en 1851) para proteger su procedimiento de fabricación, resulta adjudicataria de la exclusiva del asfaltado en algunas calles madrileñas, y en 1851 asfalta en Madrid el Paseo del Prado, la subida de coches al Retiro y varias calles como Cañizares, Juan de Herrera y Calderón de la Barca.

El Manual de Caminos que comprende trazado, construcción y conservación del Ingeniero de Caminos Espinosa, publicado en 1855, ya incluía las técnicas francesas de asfaltado.

En el País Vasco también se explotaron otros yacimientos similares como los de Maeztu en Álava, a partir de 1856, en el que la concentración de asfalto en unas calcarenitas del Campaniense estaba entre el 9 y el 20%. Las minas de Maeztu, por su proximidad al ferrocarril disponían de un apartadero, lo que la hacía competitiva en lugares fuera de su entorno. Una empresa con actividad significativa hoy día en la pavimentación asfáltica, Asfaltos Naturales de Campezo, tuvo su origen, como refleja su nombre, en la explotación de un yacimiento en la misma comarca.

La aplicación de los morteros de asfalto natural



continuó en la primera mitad del siglo XX, en especial en zonas donde su proximidad a yacimientos lo hacía competitivo frente a tratamientos con alquitrán de hulla o los incipientes hormigones bituminosos con betún de petróleo importado en barriles. En 1928, Del Rio¹ reivindicaba y daba indicaciones del modo de aplicarlo y de un ensayo exitoso en la carretera de Madrid a Francia por Irún, a la salida de Miranda de Ebro.

Con ocasión de los ensayos del Circuito Nacional de Firms Especiales de 1926 también se emplearon mezclas con calizas bituminosas, como las de Maeztu², en tramos de ensayo con una base de tarmacadam con piedra ofítica y una capa superior de hormigón asfáltico con asfalto natural de Maeztu.

La progresiva expansión de los tratamientos y mezclas hechas con alquitrán de hulla o con los betunes derivados del petróleo fue haciendo perder competitividad a los asfaltos naturales, definitivamente arrinconados hacia el campo de los morteros y asfaltos fundidos (actuales másticos bituminosos de la EN 13108-6) en la zona de influencia de las minas.

Tras el impulso dado con el Circuito Nacional de Firms, no fue hasta el Plan de Modernización de la Red de Carreteras Españolas de 1950 cuando se retomó la mejora de los firms y pavimentos de la red. Hasta esa década de los 50s, la capa de rodadura de las carreteras, cuando existía, estaba constituida por tratamientos superficiales sobre capas, bien granulares como maca-

¹ Del Rio, M. - Afirmanos de asfalto natural- Revista de Obras Públicas nº1928, 76, tomo I (2511): 360-361 (1928)

² Aguilar, M. - Ensayos de firms especiales para carreteras- Revista Obras Públicas nº2439 (1925)

dam, bien tratadas con ligantes como el macadam de penetración. Así, dicho Plan de 1950 indica que, de los 70.000 km de la red, sólo 20.937 km (un 30%) tenían rodadura con riegos asfálticos y únicamente un 20 % de los 2.265 km de firmes especiales, algo más de 400 km, eran firmes de tipo bituminoso en los que se encontraban, bien macadam de penetración hecho in situ con alquitrán o betunes fluidificados, bien mezclas tipo tarmacadam también hechas con alquitrán o bien mezclas abiertas en frío con betunes fluidificados o emulsión. Las mezclas asfálticas se hacían con plantas muy rudimentarias, con alimentación cuasi manual de áridos mediante carretillas, dosificando el betún en volumen.

Los aglomerados en caliente en central

Tras el Plan de modernización de 1950, la implantación de las mezclas asfálticas en caliente fabricadas en central no se produjo realmente en nuestro país hasta después de la liberalización de las importaciones de equipos, estimulada por el Tratado con Estados Unidos de 1953, a partir del cual España empezó a tener acceso a tecnologías como las que ya se usaban en Estados Unidos, tanto en cuanto a plantas de fabricación como a equipos de extendido. También, derivado de dicho convenio, se produjo un intenso intercambio tecnológico (viajes de estudios a EEUU de técnicos españoles) y el desarrollo de la red de laboratorios de ensayos provinciales a partir del primer Laboratorio del Transporte de la Escuela de Caminos creado a mediados de los años 40s (posteriormente denominado de Transporte y Mecánica del Suelo) y su sección de pavimentos, dando lugar a la consiguiente normalización de ensayos y métodos de dosificación de mezclas.

La eclosión y asentamiento de las mezclas en caliente

No obstante, el gran despliegue de las mezclas asfálticas en caliente se produjo con el programa de la Red de Itinerarios Asfálticos (REDIA) 1967-1971, que se terminó en 1975 y entre cuyos objetivos se encontraba "la extensión de capas de aglomerado asfáltico a lo largo de toda la calzada como refuerzo de firme y dando continuidad a la capa de rodadura" para lo cual el firme se terminaba con unas capas de mezclas bituminosas en caliente de 12 cm de espesor. Estas mezclas seguían las pautas de diseño y formulación habituales en Estados Unidos, marcadas por el Asphalt Institute, que se recogían en su ampliamente difundido y traducido Manual del Asfalto. Eran composiciones de granulometría cerrada con altos contenidos de mortero y ligante,

siendo típico el empleo de los tipos IV o V en rodaduras y del tipo III en intermedias.

Estas mezclas flexibles, resistentes a fatiga, duraderas frente al envejecimiento pero con dudosa resistencia frente a las deformaciones plásticas, se revelaron pronto poco adaptadas a las circunstancias españolas, con cargas por eje mucho más altas, velocidad más reducida de nuestros sobrecargados camiones y un clima con temperaturas muy elevadas en verano, lo que produjo la aparición de espectaculares roderas, especialmente en zonas de rampas con tráfico muy canalizado, lento y sobrecargado.

Ello motivó un movimiento pendular, pasando de estas mezclas escasas en huecos con abundante mortero y ricas en betún, aunque muy durables por otra parte, a mezclas con alto esqueleto mineral y áridos más angulosos y duros, mayor contenido de filler y menor dotación de betún, con algo más de huecos. Al mismo tiempo, se pretendía formularlas con un ensayo más adaptado para caracterizar el problema de las roderas como era el ensayo de pista, sin basarse únicamente en el ensayo de deformaciones plásticas (como se auto titulaba el Ensayo Marshall). Por último, se regularía la elección del tipo de ligante en función de la zona térmica estival de la aplicación.

Estas nuevas mezclas se reglamentaron en la importante modificación normativa recogida en el primer PG-3 (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes): el PG-3/75, publicado en 1976. Supuso un hito que marcó las bases y filosofía de las mezclas y ligantes de que disponemos hoy día, pasando a cuatro grupos de mezclas: abiertas(A), gruesas (G), semidensas (S) y densas (D).

Como era lógico, este movimiento pendular llevó a mezclas que, efectivamente, no tenían ninguna rodera, pero sí escasa durabilidad en cuanto a resistencia a fisuración térmica o fisuración por envejecimiento, debido a su escasa dotación de betún.

En general, había pánico a mezclas escasas de huecos, por lo que estas se diseñaban con poco mortero. El miedo a las roderas provocó esta reacción y, muchos años después, se ha intentado, aunque quizás no se ha llegado todavía, establecer un término medio en cuanto al aumento de dotaciones de betún y espesor de la película del ligante para que las mezclas duren más y tengan mayor resistencia a envejecer y a fatiga.

A principios de los años 80s aparecieron las mezclas porosas o drenantes, que se incorporaron a la modificación del Pliego de 1989.

Posteriormente, las empresas empezaron a desarrollar las mezclas discontinuas, que se incorporaron a la normativa en la Orden Circular OC 5/2001, en la que se establecieron dos grupos. Por un lado, las finas (F) con alta macrotextura pero impermeables, con bastante mortero y algo susceptibles de perder macrotextura con tráficos pesados, siendo una aplicación típica la capa de 3 centímetros de espesor; por otro, las mezclas monogranulares (M) que, aplicables en espesores de 3 a 2 cm, eran semidrenantes pues tenían huecos en torno a un 14 por ciento.

Desde la modificación normativa de 2008 (OC 24/2008) las mezclas discontinuas se integran en las BBTM, con apellidos A o B según el grupo. Dicha modificación endurece algunas prescripciones en cuanto a materiales y empleo.

Finalmente en 2014, las mezclas bituminosas en caliente se adaptan totalmente a la normativa armonizada europea establecida en la serie de normas UN-EN 13108.

Las mezclas en frío

Aunque en las mezclas asfálticas para carreteras hubo un predominio de mezclas en caliente fabricadas en central, las mezclas en frío han tenido una gran tradición, empleo y buen comportamiento en toda la red secundaria de carreteras. Estas mezclas son la base de la gran mejora de esta red con un comportamiento flexible, con características de auto reparación, superando la incómoda rodadura que solían tener los tratamientos superficiales.

A pesar de que a principios del siglo XX ya habían sido inventadas las emulsiones aniónicas de betún de petróleo, en la primera mitad de dicho siglo se hacían mezclas “almacenables” para colocar en frío, fabricadas calentando áridos y con alquitranes o betunes fluidificados como ligantes.

La aparición de las emulsiones catiónicas en 1951 supuso un gran avance por su menor sensibilidad a la humedad y tipo de áridos, reemplazando rápidamente a las aniónicas y dando lugar a avances en la fabricación y empleo de mezclas en frío fabricadas en centrales sencillas y fácilmente transportables. En sus inicios hubo curiosas experiencias, como las realizadas en

Orense, fabricando la emulsión a pie de obra para reparaciones como tratamiento superficial o elaboración de aglomerados para bacheos³.

Las lechadas bituminosas o microaglomerados en frío comenzaron su andadura en España a principio de los 60s, entonces conocidas como “slurry”.

Las mezclas en frío se incorporaron también al PG-3/75.

3. Fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas

La evolución que se ha producido y continúa produciéndose en los tipos y características de las mezclas bituminosas no se hubiera alcanzado si el desarrollo de toda la industria relacionada con las mismas, tanto la de fabricación de las plantas bituminosas como la de los equipos de puesta en obra, no hubiese acompañado el proceso.

Primeras plantas y su evolución.

A partir de 1870, cuando aparece la primera mezcla asfáltica moderna, comienza la evolución de las plantas de fabricación de mezclas en caliente, desde las que se realizan únicamente las operaciones de secado y mezclado. Durante los primeros años del siglo XX dichas instalaciones se desarrollan hasta conseguir, en la década de los años treinta, plantas capaces de fabricar 800-1000 toneladas en una misma jornada de trabajo. Las primeras instalaciones estaban compuestas por elementos muy básicos, con los dispositivos mecánicos existentes en esa época, capaces de calentar y mezclar los áridos junto con el ligante, diseñadas para pequeñas producciones y empleando sistemas de dosificación de escasa precisión: el árido era dosificado en cajones y el ligante en cubetas que se vertían sobre un mezclador



Figura 2. Imagen primeras plantas de mezcla en caliente (circa 1870)

³ Inaraja Arizti, R. - Las emulsiones catiónicas fabricadas a pie de obra. - Revista de Obras Publicas N° 2669 (1962)

que depositaba la mezcla sobre vagones tirados por caballos. Los áridos eran introducidos manualmente, lo que condicionaba la posibilidad de emplear mayor número de fracciones, hasta que se emplean las primeras tolvas alimentadoras en frío en torno al año 1900. En los primeros años se utilizaba madera como combustible para el calentamiento de los materiales, siendo una industria muy contaminante. En 1901, la firma Warren Brothers presenta la que se considera primera planta en caliente con los elementos de una planta moderna, a falta de tolvas de alimentación en frío y sistema de depuración de polvo.

Con el paso de los años fueron evolucionando, modificando las instalaciones e introduciendo nuevos elementos mecánicos y electrónicos que permitieron mejorar todo el proceso. Los áridos comienzan a ser alimentados en tolvas de materiales con palas cargadoras, pudiendo así incorporar mayor cantidad de material, posibilitando también manejar de forma controlada un número mayor de fracciones y/o naturaleza de materiales, siendo en la década de los treinta del siglo XX cuando se incorporan cintas transportadoras para introducir los áridos en la planta.

En los años treinta y cuarenta se incorporan sistemas de aspiración de gases del tambor secador, con el objetivo de mejorar la efectividad del proceso. Este proceso arrastra una parte de los finos que llevan los áridos, los cuales eran retenidos con colectores por vía húmeda, material que era depositado en fosos y mezclado con agua formando lodos para su posterior traslado a vertederos. En los años setenta estos sistemas evolucionan incorporando equipos mecánicos centrífugos o filtros de mangas (también conocido como colector de sacos) que llevan el filler a depósitos de almacenamiento para su posterior utilización en la fabricación de la mezcla.

Se utilizan nuevos sistemas de calentamiento a partir de combustibles fósiles, como es el fuel-oil, aceites reciclados o también, en los últimos años, gas natural.

Durante las décadas de 1970 y 1980, gracias a la aparición de la informática y los ordenadores, se produce un avance importante en la fabricación de las instalaciones, que permite optimizar el diseño de los equipos y el proceso. Se fabrican plantas con sistemas de control computarizados totalmente automáticos, produciendo también una mejora notable en el control del ruido y polvo. El rendimiento es incrementado gracias a la mejora en los sistemas de calentamiento y mezclado de los materiales, capaces de alcanzar elevadas producciones horarias de hasta 400-500 toneladas de mezcla. También aumenta la precisión de todos los trabajos (funcionamiento de motores, dosificación de ma-

teriales, etc...) siendo capaces de detectar, comunicar y registrar un mal funcionamiento en cualquiera de sus equipos.

Asimismo, la crisis del petróleo de 1973 hace pensar en la reutilización de las mezclas bituminosas, lo que impulsa la aparición de las primeras plantas de reciclado de tambor secador mezclador con anillo de incorporación de material para reutilizar, que marcan el inicio de la evolución hasta las plantas actuales, más eficientes, limpias y con mayor capacidad de reutilización.



Figura 3. Esquema informático del panel de fabricación de plantas de finales del siglo XX

Primeras plantas en España.

Es en la década de los años cuarenta del siglo XX cuando comienzan a instalarse las primeras plantas de fabricación de mezclas bituminosas en caliente en España. Posiblemente la primera planta en España sea una instalación situada en la provincia de Ciudad Real en el año 1945 por Elpidio Sánchez Marcos para la empresa ELSAN⁴, fabricada íntegramente por el propio constructor.

En la zona sur, la empresa Rus instala la primera planta asfáltica colocada en Andalucía en el año 1950 en la carretera que unía las localidades de Utrera y Arhal (Término Municipal de Morón de la Frontera).

En la zona de Levante, el propulsor en este sector para la fabricación de mezclas bituminosas en calien-

⁴ Entre dos siglos. El legado de Elpidio Sánchez Marcos en el centenario de su nacimiento (salamanca, 1900-2000).

te es la empresa Pavasal, cuya primera planta data del año 1962 instalada en la Comunidad Valenciana, con una producción de 25 toneladas a la hora.

En el norte de la Península, en el País Vasco, la empresa Asfaltos Naturales de Campezo coloca una instalación de fabricación de mezclas bituminosas en caliente en la década de los cincuenta.

En España, tras un largo periodo en el que el empleo de plantas continuas fue muy importante, la tendencia

ha sido emplear instalaciones discontinuas, la mayoría de ellas fabricadas por empresas ubicadas en Europa, una de las cuales se encuentra situada en nuestro país. Disponen de tecnología y equipos de alta calidad, desarrollando instalaciones con diseños especiales adaptados a las necesidades cada fabricante de mezclas bituminosas y que ofrecen mayor facilidad para los repuestos de piezas o la asistencia técnica ante posibles averías.



Figura 4. Planta de Elsan número 5 instalada en Ciudad Real en el año 1945.



Figura 5. Planta de la empresa Rus instalada en Morón de la Frontera (1950).



Figura 6. Planta de Pavasal instalada en la Comunidad Valenciana (1962).

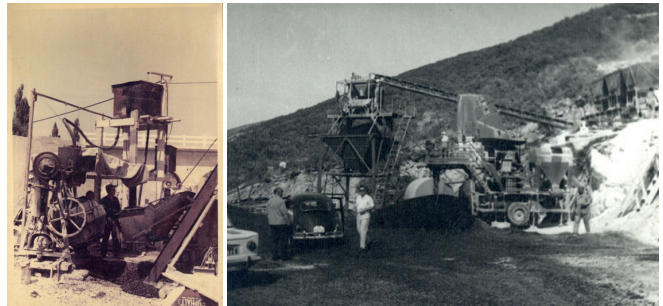


Figura 7. Plantas de fabricación de MBC de Asfaltos Campezo década de los 50.



Figura 8. Fabricación de aglomerado en frío con hormigonera en el año 1951.



Figura 9. Máquina MOTO PAVE en el año 1960.

Respecto a la fabricación de las mezclas bituminosas en frío, las instalaciones requeridas son más sencillas debido a no precisar calentamiento previo de los materiales, siendo suficientes una o dos tolvas de alimentación de áridos, un depósito de emulsión y un mezclador.

En la década de los 60 se desarrolla un equipo móvil denominado MOTO-PAVER, compuesto por los elementos y mecanismos necesarios para fabricar mezclas bituminosas en frío in situ.

La puesta en obra desde mediados del siglo XX.

A la vez que evolucionaba la tecnología de fabricación de mezclas bituminosas, también lo hacía la de puesta en obra. A continuación, se presenta una panorámica de la evolución en los métodos de puesta en obra del aglomerado asfáltico, desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad.

Operaciones previas: riego asfáltico y fresado de pavimentos envejecidos.

Los primeros riegos se hacían con alquitrán de hulla y posteriormente betún sobre los firmes de macadam, con el fin de eliminar el problema del polvo de los caminos, que se agravó sobremanera con la extensión del uso del automóvil.

En la actualidad, el riego manual prácticamente ha desaparecido, generalizándose el empleo de cisternas de riego con rampa.

La eliminación de pavimentos bituminosos envejecidos previamente a extender una nueva capa se realizaba en un primer momento con fresadoras en caliente.

El empleo de picas de metal duro de la minería permitió que se realizara el salto tecnológico del fresado en caliente al fresado en frío, fabricándose en 1979 la primera fresadora de carga trasera y en 1984 la primera máquina de carga frontal, modificando esta última la logística en la obra.⁵



Figura 10. Bituminadoras para la ejecución del riego asfáltico sobre bases granulares⁶



Figura 11. A la izquierda, cisterna de riego. A la derecha, detalle de los abanicos

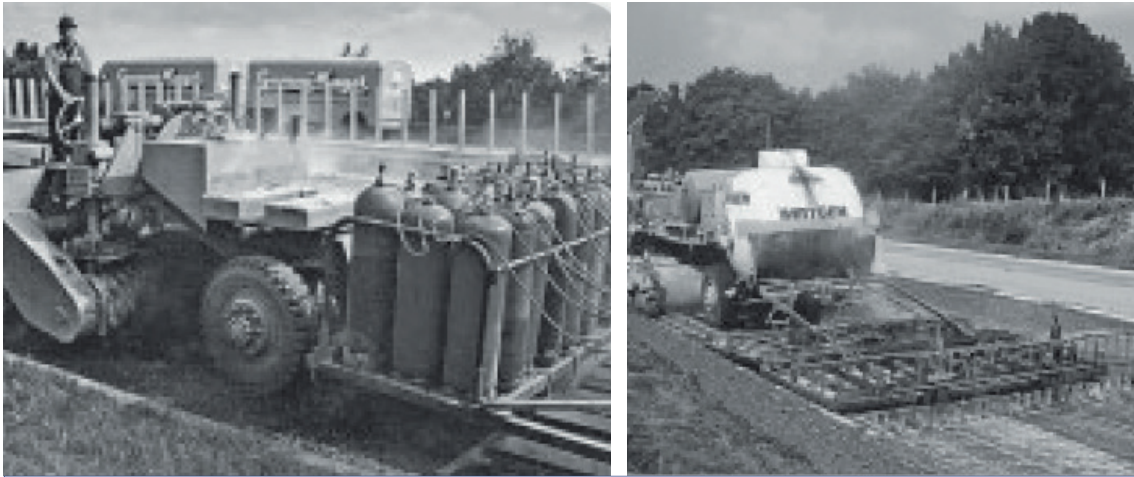


Figura 12: Primeras fresadoras en caliente. 1971 (izda) y 1973 (dcha)



Figura 13: Fresadoras en frío. Carga trasera (izda) y delantera (dcha)

Extendido de la mezcla asfáltica.

Con el fin de ilustrar la evolución de los procesos de puesta en obra, se reproduce parcialmente un texto de un Manual de 1943 con el que se formaron los ingenieros de caminos españoles de la segunda mitad del siglo XX. Aunque puede resultar un poco extensa la cita, se considera bastante representativa como punto de partida para la panorámica que queremos abordar en la puesta en obra de mezclas bituminosas:

“la mezcla...se descargará generalmente por gravedad, en camiones que la transportan al punto de empleo; es conveniente que lleven la carga cubierta con toldos; se conserva así la temperatura durante el recorrido. Llegado el camión a obra, debe verter la mezcla sobre unas chapas metálicas, de las cuales se transporta el punto de empleo, a pala o carretilla. En América existen máquinas distribuidoras automáticas de la mezcla... pero no se han empleado en Europa”⁷

Estas máquinas que se mencionan en el Manual de José Luis Escario son las extendedoras. La primera extendidora automática precursora de las actuales fue el

modelo 879 construido por la firma Barber-Greene en 1936. Esta extendidora estaba montada sobre orugas e incorporaba una importante innovación: la regla flotante. La mezcla se recibía en una tolva delantera, pasaba por debajo de la máquina mediante un transportador de listones, se distribuía transversalmente en la calzada mediante un sinfín de reparto y se precompactaba mediante un tãmpor vibrante a 1200 rpm antes de terminar con la regla. El diseño y la velocidad lenta de la máquina compensaban las irregularidades en la superficie de la calzada y producían de manera automática una capa de espesor uniforme. A finales de los años 50, el sistema de transmisión mecánico fue sustituido por sistemas de transmisión hidráulico y también se añadieron los sistemas electrónicos de control de nivel, así como el control automático de la regla a comienzo de los años 60. Las reglas de mayor ancho, capaces de pavimentar dos carriles a la vez hicieron su debut en 1968.

⁵ www.wirtgen.com

⁶ Archivo propio Rus-Eiffage Infraestructuras

⁷ Escario, J.L. - Caminos (1943)

En los equipos modernos, los avances producidos con respecto al modelo original de Barber- Greene se reflejan en la automatización de la alimentación, con sensores de llenado de la cámara de sinfines, en el bloqueo del descenso de regla en paradas, en un aumento del grado de precompactación con la introducción de vibración, doble támara o barras de presión en las reglas de alta compactación, en las reglas extensibles hidráulicamente y en los avances en los sistemas de control de nivelación con sensores sin contacto por ultrasonido, referencias láser o 3D incluyendo el guiado automatizado, y en una mayor capacidad de ancho de extendido, triplicando el de aquella primera extendedora.



Figura 14: Extendedora Modelo 879 de Barber-Greene (1936)⁸

Con el objetivo de avanzar también en la mejora de la calidad del producto final, se han incorporado otro tipo de máquinas al proceso de extendido, como son los silos móviles de transferencia, que mejoran de forma muy importante tanto la homogeneidad térmica como la granulométrica.



Figura 15: Extendido a ancho completo con empleo de silo de transferencia

Compactación de la mezcla asfáltica.

Siguiendo con el Manual citado, “el apisonado del firme es una operación delicada; de ella depende, en gran parte, su resultado; debe realizarse con un cilindro de 10 a 12 t, en el caso de firmes de agregado grueso, y de 6 a 8 t para morteros asfálticos. La operación de apisonado debe efectuarse según direcciones oblicuas al eje del camino variando, en cada pasada, el ángulo que formen; las apisonadoras que se empleen deben cambiar el sentido de la marcha con suavidad, pues de lo contrario, al realizar esta operación se producen huellas en el firme. La velocidad de marcha debe ser uniforme”.

Los compactadores empleados a finales del siglo XIX eran compactadores de vapor, que luego fueron sustituidos por compactadores de motor diésel en la primera mitad del siglo XX. El primer compactador de vapor fue construido por la firma británica Aveling&Porter en 1865 y el primer compactador diésel por la firma alemana Hamm en 1911.

Hasta mediados de los años 50, la mayoría del aglomerado en caliente se compactaba con una combinación de un compactador ligero tándem liso y un compactador pesado con tres rodillos. A mediados de los años 60, se empieza a popularizar el empleo de los compactadores de neumáticos, así como de los compactadores tándem de rodillo vibratorio cuyo primer modelo fue desarrollado por la empresa alemana BOMAG en 1957.

El siguiente avance en la compactación vino dado por la introducción de la tecnología de vibración oscilante, desarrollada por HAMM en 1983. En contraste con la vibración que compacta el material por impactos verticales de la masa del tambor, con el método de oscilación, el tambor en movimiento permanece en contacto permanente con el suelo. Las fuerzas de corte tangenciales aplicadas al material a compactar proporcionan resultados de compactación notablemente mejores al tiempo que minimizan el impacto en las personas, el propio firme, su soporte y el medio circundante.

La compactación ha evolucionado hacia la “Compactación inteligente”. Esta tecnología incluye un sistema de posicionamiento global y controles de retroalimentación de la densificación alcanzada en la capa para ajustes en tiempo real. Los controles de retroalimentación analizan la respuesta de la capa al paso del rodillo y determinan si se requiere otra pasada. Ajustan

⁸ <https://www.construccionequipment.com>

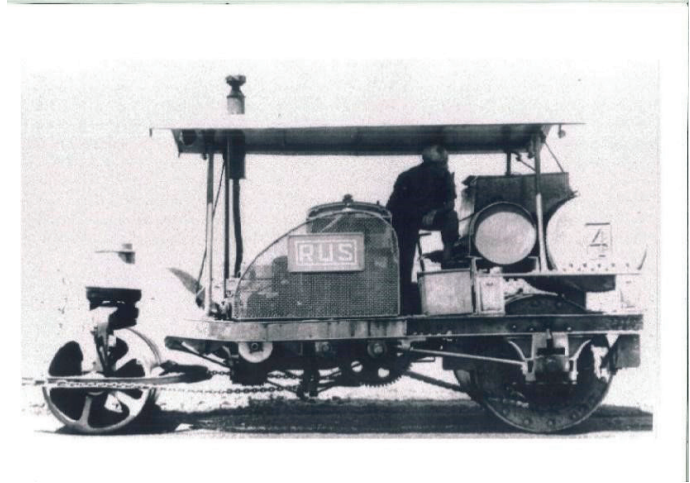
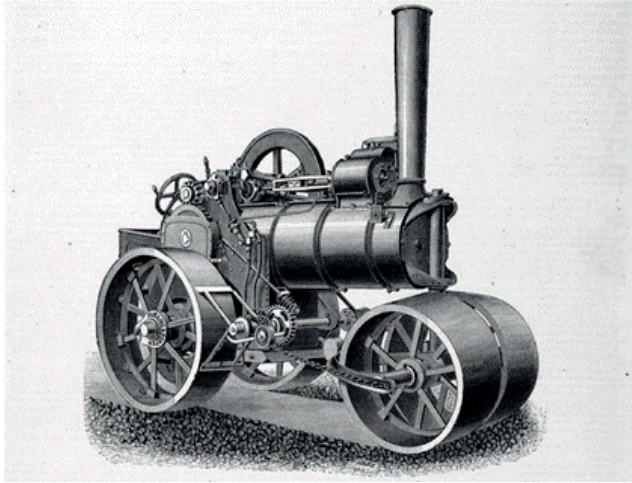


Figura 16. A la izquierda compactador a vapor. Aveling&Porter (1873). A la derecha compactador de motor diesel.

la fuerza del rodillo al material debajo de él. El análisis incluso determina cuándo un segmento de pavimento no responde al tratamiento con rodillo y recomienda que no se compacten más.

Esta determinación de la densidad de la capa se realiza de manera indirecta a partir de la respuesta de su rigidez al medirse con acelerómetros incorporados a los rodillos.

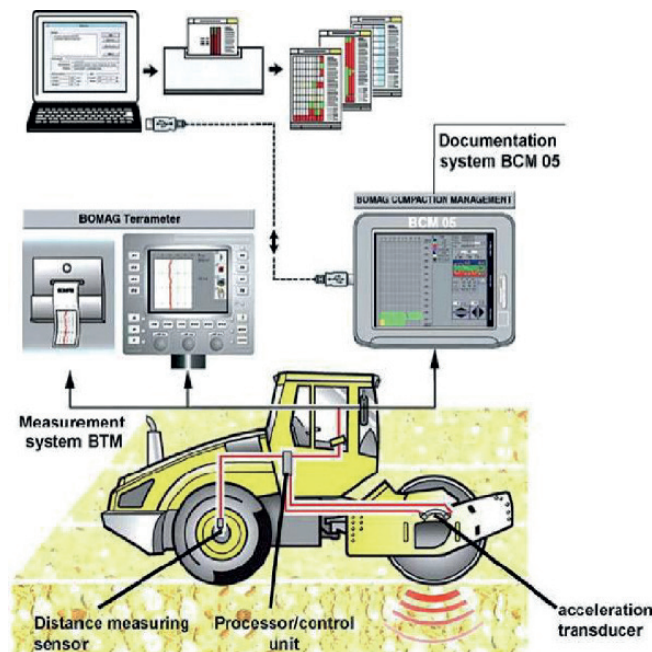


Figura 17: Sistema de Compactación inteligente de BOMAG⁹. (Fuente: www.bomag.com)

4. Diseño y control de calidad de las mezclas bituminosas en España

Tanto el diseño como el control de calidad de las mezclas bituminosas en España ha venido marcado fundamentalmente por la normativa española, especialmente el PG-3. Los criterios de diseño y control han ido variando en función de las necesidades existentes, que exigen nuevos requisitos; también se han visto influidos por las novedades que han ido apareciendo en el mercado, intentando utilizar las mejores técnicas disponibles en cada momento.

Otra cuestión que ha marcado dicha evolución es la aparición de nuevos métodos de ensayo, que permiten mejorar el conocimiento del comportamiento de las mezclas bituminosas, diseñando el mejor producto para cada aplicación.

A continuación, se destacan, cronológicamente, algunos de los cambios más importantes que se han producido desde la aparición del PG-3 derivados de las modificaciones normativas.

Para ello, se han empleado líneas de tiempo para diferentes características y parámetros. En el documento completo se pueden encontrar cuadros para los ensayos de diseño y control de las familias de mezclas normalizadas, así como líneas de tiempo de la evolución de los tipos de ligante y su contenido mínimo por tipo de mezcla, además de algunas otras características que se han considerado importantes.

Para este artículo, se incluyen únicamente un par de ejemplos, que se consideran significativos.

⁹ www.bomag.com

Hormigones bituminosos, ensayos de diseño

Marshall: estabilidad y deformación en función tipo tráfico (pesado, medio o ligero)

Marshall: estabilidad y deformación: valores en función de cat. tráfico pesado

Huecos en mezcla: se añade dependencia cat. Tráfico pesado

Huecos en mezcla: en función de capa

Huecos en áridos: se añade mínimo 16% para tamaño máx. árido 8 mm

Huecos en áridos: en función tamaño más árido: >15% para 12; >14% para 20 y >13% para 25

Ensayo pista laboratorio en rodadura e intermedia: máx. Velocidad deformación 105-120 min en función categoría tráfico y zona térmica estival

Huecos en áridos: se aúna el mínimo del 15% para tamaño máx. árido 20 y 25 mm

Ensayo pista laboratorio en rodadura e intermedia (NLT-173): se modifican límites para meter categoría T00

Se introduce el **ensayo de inmersión-compresión:** pérdida resistencia < 25%

Huecos en áridos: pasa a ser optativo si lo exige el Pliego o Director de Obra: >15 % tamaño máx. 16 y >14% para 22 o 32.

Ensayo pista laboratorio a 60°C y 10000 ciclos: pendiente entre 5000 y 10000 ciclos en función cat. Tráfico pesado, capa y zona térmica estival

Sensibilidad al agua a 15°C: resistencia conservada > 80% en base e intermedia; > 85% en rodadura

Huecos en mezcla: se modifican algunos de los límites. Se reduce el rango para capa base un 1%; en capa intermedia se reduce el rango en un 1% para T1 y T2 y el límite superior para T3 y T4. En rodadura se incrementa en 1% el límite sup. Para T3 y T4.

Ensayo pista laboratorio: La pendiente para T3 y arcenes en zona térmica media para capas de rodadura e intermedia pasa de 0.10 a 0.15. Se incluyen combinaciones de pendiente y profundidad media que en algunos casos se puede dar por válida la fórmula aunque se supere el valor de pendiente



Se elimina el requisito de huecos para mezcla de tamaño máx. 8 que desaparece

Se cambia inmersión por sensibilidad al agua y el ensayo pista pasa a ser evaluado por la EN-12697-22 B

Tipología de mezcla y espesores

4 tipos: Densas (D), Semidensas (S), Gruesas (G) y Abiertas (A).

Se introduce mezcla D tamaño máx. 8mm

Se introducen mezclas **discont. pequeño** espesor. Tamaño máx. 8-10 cm:

Aparecen mezclas alto módulo (**MAM**). Capas intermedia o base con espesor 6-12 cm

MAM: el rango de espesor de capa crece de 6-12 cm a 7-13 cm

MAM: el espesor de capa se fija 6-13 cm para T00 a T2. Límite 10% RAP. Se puede volver a usar en intermedia

Tres tamaños árido según espesor capa: 12 (e < 4cm), 20 (4-6 cm) o 25 (>6 cm)

Mezclas P y PA
Elección en función tipo capa y espesor

Tipo F capas finas: 2.5-3 cm
Tipo M disc. monogranulares: 1-2 cm

Para D12, S12 y PA12 el espesor mín. rodadura pasa de 3 a 4 cm
Para mezclas discont. En T00 a T1 se usarán mezclas tipo M

En **hormigones bituminosos** el espesor mín. capa interm. pasa de 5 a 6 cm y el de base de 7 a 9 cm.

Se cambian denominaciones: **AC.** Espesores capa intermedia pasa de 6-9 cm a 5-10 cm. En base de 9-15 cm a 7-15 cm.
BBTM: 2-3cm
PA: 4-5 cm

Se introducen **mezclas semicalientes** se pueden usar para T1 a T4.

Se establece para **SMA:** Espesores de entre 5-9 cm en capa intermedia y entre 2-6 cm para rodadura



Se suprimen D8, A12 y P12

Se elimina G20 y MAM en capa intermedia

Se eliminan F y M (pasan a ser BBTM)

5. Nuevos retos y líneas de investigación

Toda la evolución que se ha producido alrededor de los aspectos relacionados con las mezclas bituminosas ha llevado a la tecnología a la situación actual, existiendo una gran variedad de soluciones, tipos de familias de mezclas, equipamiento y maquinaria y diversidad de metodologías de fabricación. Muchos de estos avances han sido impulsados tanto por las necesidades técnicas y económicas como ambientales, en la búsqueda de soluciones más sostenibles.

Actualmente el conocimiento y la técnica están sufriendo un gran avance, sobre todo motivado por la necesidad de aumentar la sostenibilidad de los firmes asfálticos. En este sentido, se lleva ya tiempo trabajando en la incorporación de mezclas bituminosas fabricadas a menor temperatura, así como en la reutilización de mezclas asfálticas envejecidas en altas tasas, para reducir los gases contaminantes producidos por la fabricación y puesta en obra de las mezclas.

Por otro lado, se han desarrollado nuevos métodos de ensayo que contribuyen a tener una mayor información del comportamiento de las mezclas asfálticas frente a diferentes sollicitaciones, como son ensayos que miden la resistencia de las mezclas a la fisuración (ensayo Fénix), ensayos que miden al mismo tiempo la respuesta estructural y la fisuración por fatiga (ensayo UGR-FACT).

Dar una visión general de la situación actual en cuanto a tipos de mezclas, metodologías de fabricación y técnicas de puesta en obra, así como la propuesta de posibles mejoras para el futuro con las líneas de investigación posibles, es la tarea que actualmente se está realizando en este grupo de trabajo del Comité de firmes de la Asociación Técnica de Carreteras. ❖

Mezclas bituminosas ultradelgadas semicalientes, sostenibles y seguras



Sustainable and safe ultrathin warm mix asphalt

José Ramón López Marco

Pavasal Empresa Constructora S.A.

Rebeca Sastre Rabal

Pavasal Empresa Constructora S.A.

Julio López Ayerra

*Centro Tecnológico de la
Construcción R. Murcia*

Gloria Motos Cascales

*Centro Tecnológico de la
Construcción R. Murcia*

Jesús Felipo Sanjuán

Pavasal Empresa Constructora S.A.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos durante el proyecto de I+D denominado ULTRAPAV, desarrollado por Pavasal Empresa Constructora S.A. y el Centro Tecnológico de la Construcción R. Murcia- CTCON; el proyecto ha sido financiado por CDTI y Fondos Europeos FEDER. El objetivo principal del proyecto ha sido el desarrollo de pavimentos bituminosos sostenibles y seguros, con altas prestaciones mecánicas, para capas de rodadura de carretera. En el proyecto se ha estudiado la posible capacidad de estos pavimentos de reducir el empleo de recursos naturales, disminuir el consumo de combustible de los vehículos, rebajar la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas, aumentar la seguridad vial y reducir la emisión de partículas a la atmósfera al disminuir el desgaste de los neumáticos y del firme.

Se han realizado ensayos y estudios sobre las mezclas bituminosas entre los que destacan los realizados sobre las prestaciones mecánicas, estudio del comportamiento antideslizante de las mezclas mediante ensayos de laboratorio, cálculo de la resistencia a la rodadura y consumo de combustible, resistencia al desgaste de los neumáticos y estudio sobre las características acústicas.

Se presentan los resultados obtenidos sobre cuáles son las características de diseño que deben tener los pavimentos de alta sostenibilidad. Posteriormente se ha validado dicha investigación mediante tramos de prueba realizados en carreteras convencionales. Se han estudiado mezclas bituminosas susceptibles de ser usadas para capa de rodadura como son las de tipo hormigón bituminoso AC, mezclas tipo discontinuas BBTM y las de tipo ultrafinas AURL.

This paper presents the results obtained during the R&D project called ULTRAPAV, developed by Pavasal Empresa Constructora S.A. and Región de Murcia Construction Technology Center - CTCON, a project supported by CDTI and European FEDER Funds.

The main objective of the project was the development of sustainable and safe bituminous pavements, with high mechanical performance, for road wearing courses. These pavements can reduce the use of natural resources, reducing vehicle fuel consumption, lowering the temperature of manufacturing and laying, increasing road safety, and reducing the emission of particles into the atmosphere.

Tests and studies on bituminous mixes were carried out with those on mechanical performance standing out, studying of the non-slip behavior of the mixtures through laboratory tests, calculation of rolling resistance and fuel consumption, wear resistance of the tires and studying on acoustic characteristics.

The results obtained on the design characteristics that highly sustainable pavements should have, are presented. This research was subsequently validated through test sections carried out on conventional roads. Bituminous mixtures that can be used for wearing course were studied, such as the AC bituminous concrete type, BBTM discontinuous type mixtures and the AUTL ultrathin type.

1. Introducción

En los últimos años se ha trabajado mucho en desarrollar mezclas bituminosas más sostenibles medioambientalmente mediante la aplicación de tecnologías que incidieran en aumentar la durabilidad de los firmes, disminuir las temperaturas de fabricación de las mezclas y en la incorporación de materiales reciclados o recuperados.

Con respecto a las mezclas para capas de rodadura se ha actuado en la obtención de buenas prestaciones mecánicas, acústicas y de seguridad, pero resulta necesario continuar actuando en otros aspectos medioambientales como pueden ser la disminución del gasto energético y de recursos naturales en su producción o la reducción de consumos de combustible de los vehículos y el desgaste de los neumáticos de los mismos en su periodo de uso.

Por tanto, se ha considerado interesante diseñar mezclas bituminosas sostenibles para capas de rodadura donde se tengan en cuenta el conjunto de estas cuestiones.

Así, con el desarrollo de estas mezclas se ha buscado alcanzar las siguientes ventajas:

- Ahorros energéticos y de recursos naturales en el proceso de fabricación.
- Aumento de la seguridad en las carreteras.
- Disminución del consumo de combustible en los vehículos.
- Reducción de la contaminación de las partículas en suspensión.
- Reducción de la contaminación acústica del tráfico.

El procedimiento de trabajo seguido ha llevado a una serie de mezclas diseñadas en laboratorio donde se han realizado diferentes ensayos para comprobar las características relevantes de las mismas. Una vez estudiadas, se han seleccionado cuatro mezclas (dos AUTL, una AC y una BBTM) para la realización de tramos de prueba y la comprobación de los parámetros en servicio.

Los ensayos realizados en el laboratorio han servido para seleccionar las mezclas que se han considerado más adecuadas para realizar posteriormente los tramos de prueba, no coincidiendo, en muchos casos, los ensayos realizados en obra con los aplicados en el laboratorio en la primera fase.

Debido a que algunas de las características que se querían medir no tenían ensayos normalizados, se diseñaron algunas pruebas que, a falta de un mayor contraste, podían dar información sobre los parámetros y características a estudiar.

2. Trabajos previos en el laboratorio

2.1. Fórmulas de trabajo

Como se ha comentado anteriormente, la finalidad del proyecto es desarrollar mezclas bituminosas sostenibles con altas prestaciones mecánicas. Para ello, se ha avanzado en el diseño de mezclas bituminosas en caliente o semicalientes para capas de rodadura y todo tipo de tráfico.

Las propiedades específicas más relevantes que se han tenido en cuenta en el diseño de las mezclas a desarrollar son:

- Resistencia a las deformaciones plásticas, a la acción del agua y a la desintegración.
- Módulo de rigidez.
- Resistencia al deslizamiento.

- Propiedades acústicas.
- Resistencia a la rodadura.
- Resistencia al desgaste de los neumáticos.

Con el objetivo de poder comparar los resultados de diferentes tipos de mezclas bituminosas, se han seleccionado para el desarrollo del proyecto las mezclas tipo hormigón asfáltico (AC), las mezclas bituminosas para capas delgadas (BBTM) y las mezclas bituminosas Ultrafinas (AUTL). Las dos primeras son empleadas habitualmente en España como capa de rodadura, mientras que las AUTL han sido recientemente normalizadas por la Dirección General de Carreteras.

Así, las fórmulas de trabajo de las mezclas bituminosas desarrolladas y estudiadas en este documento serán de tipo AC, BBTM y AUTL, variando y combinando los materiales seleccionados.

En cuanto a la selección de materias primas, se han elegido materiales que cumplen con los requisitos técnicos definidos en los artículos del PG-3 para su uso en la fabricación de mezclas bituminosas para carreteras. También se han seleccionado áridos de distintas naturalezas mineralógicas (calizo y pórfido) y betunes según las prestaciones mecánicas a obtener (betunes de penetración, modificados y aditivados).

Los tipos de mezclas que se han elegido para realizar los trabajos en el laboratorio han sido las siguientes:

- AC16 SURF 35/50 S. Árido fino calizo y grueso porfídico.
- BBTM-11B 45/80-65. Árido fino calizo y grueso porfídico.

Tal y como se ha comentado anteriormente, las mezclas AC 16 SURF 35/50 S y BBTM-11B 45/80-65 son mezclas que habitualmente se utilizan para capas de rodadura y que van a servir como mezclas control y de referencia.

- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso calizo. Granulometría cerrada.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso calizo. Granulometría abierta.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino calizo y grueso porfídico. Granulometría abierta.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso porfídico. Granulometría abierta.
- AUTL-5 45/80-65. Árido fino y grueso porfídico. Granulometría cerrada.

Se han utilizado para el estudio distintos tipos de mezclas ultrafinas AUTL-5 constituidas por áridos calizos y porfídicos y con granulometrías cerradas o abiertas.

En la tabla 1 se exponen los tipos de mezclas diseñadas con sus componentes correspondientes.

Para comprobar y comparar tanto las características mecánicas como las prestacionales de las mezclas diseñadas se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- (1) Criterios mecánicos y de durabilidad: mediante la realización de ensayos relacionados con las características mecánicas para las mezclas bituminosas de rodadura de altas prestaciones.

(2) Criterios de seguridad: mediante el estudio de la resistencia al deslizamiento empleando diferentes metodologías, primero en el laboratorio y posteriormente en obra.

(3) Criterios de sostenibilidad: mediante el cálculo de la resistencia a la rodadura de las mezclas diseñadas. Se pretende predecir el consumo de combustible que va a provocar cada mezcla al rodar los vehículos por ella.

(4) Criterios de salud: mediante, por una parte, la evaluación de la influencia de las mezclas en la emisión de partículas por el desgaste de los neumáticos o desgaste de la superficie y, por otra, del ruido de rodadura evaluado en las pruebas en obra.

2.2. Criterios de durabilidad: ensayos de prestaciones mecánicas

Los ensayos de prestaciones mecánicas se han realizado de acuerdo a la normativa vigente especificada en el actual Pliego de Condiciones Particulares PG-3 en los art. 542 y 543[1]. Los ensayos y resultados han sido los siguientes, expuestos en la tabla 2, donde se puede apreciar que todas las mezclas estudiadas obtienen valores adecuados para los distintos ensayos realizados. (Tabla 2)

Código	Tipo mezcla	Árido fino	Árido grueso	Granulometría
1UP	AC16 SURF 35/50 S	Calizo	Pórfido	
2UP	BBTM-11B 45/80-65	Calizo	Pórfido	
3 UP	AUTL-5 45/80-65	Calizo	Calizo	Cerrada
4 UP	AUTL-5 45/80-65	Calizo	Calizo	Abierta
5 UP	AUTL-5 45/80-65	Calizo	Pórfido	Abierta
6 UP	AUTL-5 45/80-65	Pórfido	Pórfido	Abierta
7 UP	AUTL-5 45/80-65	Pórfido	Pórfido	Cerrada

Tabla 2. Resultados de los ensayos mecánicos

Tipo de mezcla	Contenido de betún (%)	Densidad aparente (kg/m3)	Huecos mezcla (%)	Ensayo Marshall		Sensibilidad al agua		Ensayo rodadura			Módulo resiliente (MPa)
				Estabilidad (kN)	Fluencia (mm)	ITSd (kPa)	ITSR (%)	WTS	RD	PRD	
1UP	4.44	2.504	4.9	15.4	2.4	2.780	97.2	0.061	3.20	5.3	10.044
2UP	4.49	2.219	14.9			1.540	90.8	0.066	2.15	5.4	4.086
3UP	5.19	2.336	6.1	13.7	2.4	2.550	88.3	0.057	2.10	5.3	6.898
4UP	4.59	2.166	13.2	12.7	2.9	1.780	94.9	0.061	2.69	6.7	6.678
5UP	4.55	2.122	19.4	12.7	2.0	1.560	91.8	0.047	2.00	4.9	3.187
6UP	4.69	2.256	15.1	11.8	2.7	1.650	100.0	0.067	3.00	7.6	5.019
7UP	4.92	2.276	13.7	13.3	2.1	2.180	86.3	0.074	2.34	5.9	3.159

2.3. Criterios de seguridad: ensayos de características superficiales que pueden afectar al coeficiente de rozamiento.

Una característica importante a tener en cuenta en las capas de rodadura es la resistencia al deslizamiento al paso de los vehículos, por lo que se ha considerado necesario evaluar las características superficiales de los pavimentos. Se ha recurrido a distintas metodologías para evaluar características de las mezclas que pueden influir en este parámetro y también se ha medido directamente dicha resistencia al deslizamiento. Se han empleado los siguientes métodos:

- (1) Medidas de resistencia al deslizamiento/derrape según UNE-EN 13036-4. Ensayo del péndulo [3].
- (2) Medidas de macrotextura según UNE-EN 13036-1. Ensayo del círculo de arena [4].
- (3) Determinación del rozamiento o fricción en una superficie de mezclas bituminosas tras el pulido según UNE-EN 12697-49 (Método Wehner & Schulze) [5].

De estos ensayos, el que resultó más interesante fue el último donde se utilizó la máquina de Wehner-Schulze (WS) que permite el pulimento acelerado de una mezcla

bituminosa en el laboratorio y su posterior medición de la fricción o rozamiento. Así, se ha podido estudiar y evaluar el comportamiento frente al pulimento de diferentes mezclas bituminosas antes de su puesta en obra y predecir, según este ensayo, la evolución de la fricción con el tiempo, teniendo en cuenta las características de los materiales constituyentes.

Las mezclas diseñadas se han sometido al ensayo midiendo la fricción al inicio y tras la ejecución de diferentes ciclos de pulimento (0, 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, 90.000 y 180.000 ciclos). La representación gráfica de los resultados de los valores de fricción a distintos ciclos de pulimento se presenta en la Figura 1.

Dentro de las mezclas fabricadas con material porfídico se puede apreciar que las mezclas ultrafinas AUTL-5 obtienen, con el método de ensayo Wehner & Schulze, valores de fricción mayores que las mezclas estándar AC16 SURF S y BBTM-11B.

2.4. Criterios de sostenibilidad: ensayos de resistencia a la rodadura

En Para poder avanzar en el estudio de la “resistencia a la rodadura” que ofrecerían los pavimentos construidos se ha desarrollado una prueba de laboratorio para intentar obtener información sobre ella. Dicha resistencia está relacionada con el consumo de combustible de

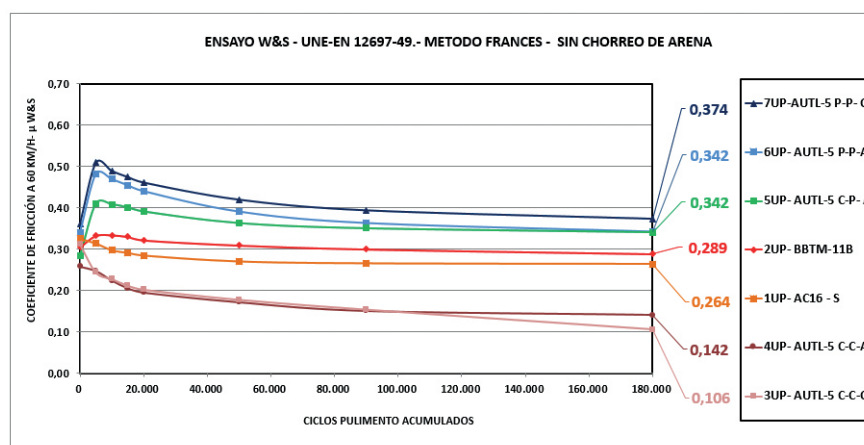


Figura 1. Representación gráfica de la evolución de la fricción en el laboratorio. Máquina Wehner-Schulze.



Figura 2. Detalle del proceso de fabricación de las probetas para rueda de CPA.

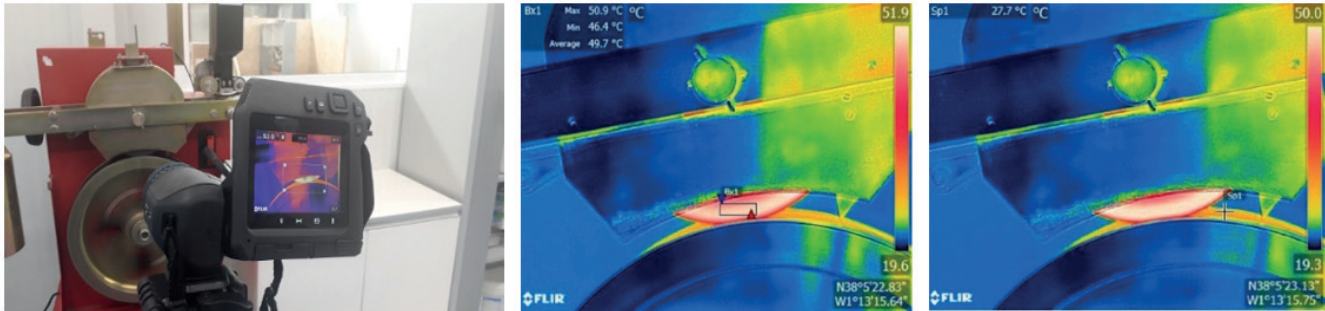


Figura 3. Tomas de video de la evolución de las temperaturas. Detalle termografías

los vehículos al rodar por dichos firmes.

Según la norma ISO 28580[6], la resistencia a la rodadura (RR) es la “pérdida de energía (o energía consumida) en forma de calor por unidad de distancia recorrida”. La RR es la energía mecánica convertida en calor por un neumático por unidad de distancia recorrida.

Para intentar analizar esta característica de los pavimentos se ha diseñado un ensayo de laboratorio modificando el equipo utilizado para medir el coeficiente de pulido acelerado a los áridos (CPA) UNE-EN 1097-8 [7].

Dicho equipo consta de una rueda de caucho que gira sobre otra rueda en la cual habitualmente se coloca el árido a ensayar. En este caso, esa rueda ha sido rellena con la mezcla bituminosa objeto de estudio. Si se hace girar el equipo durante un tiempo determinado se podrá medir el aumento de temperatura tanto del caucho como del pavimento y, por lo tanto, obtener el calor absorbido por ambos. De forma aproximada, la suma del calor absorbido por la rueda y el

pavimento sería la energía consumida al rodar y este calor estará relacionado con la resistencia a la rodadura que ejerce el pavimento. Se han fabricado ruedas con cuatro pavimentos distintos: AC16 SURF S, BBTM-11B, AUTL-5- Granulometría cerrada y AUTL-5- Granulometría abierta.

La última rueda se ha fabricado con árido desnudo de tamaño 6/12 mm simulando una gran rugosidad.

Se han tomado valores de temperatura de las ruedas de caucho y del pavimento mediante una cámara termográfica.

Con las medidas de temperatura de la rueda de caucho y la rueda de pavimento de cada mezcla se obtiene el calor absorbido (Q) por las dos ruedas. Con los valores de incremento de temperatura (ΔT), la masa de cada rueda (m) y su calor específico (Cp) se ha calculado la resistencia a rodadura - RR.

Teniendo en cuenta que el ensayo no está normalizado los resultados obtenidos serían orientativos. Según este procedimiento, los pavimentos con menor RR serían los construidos con mezclas bituminosas de tipo AUTL-5 y BBTM-11B que tienen valores similares obtenidos.

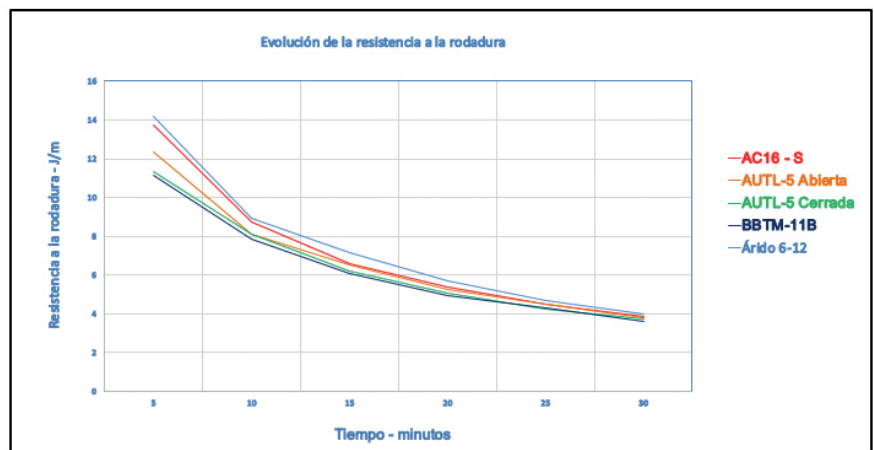


Figura 4. Evolución de la RR inducida en las superficies de los distintos pavimentos.

niéndose, en esta última mezcla, resultados levemente mejores; su valor de RR sería en este caso entre un 10-15 % menor que el de las mezclas tipo AC16 SURF S.

2.5. Criterios de salud: resistencia al desgaste de los neumáticos, emisión de partículas

En este apartado se realizó una aproximación a la influencia de las mezclas estudiadas sobre el desgaste de los neumáticos de los vehículos al rodar por los diferentes firmes. Esta medida resulta muy interesante ya que la contaminación atmosférica representa un riesgo ambiental con consecuencias perjudiciales para la salud. Uno de los contaminantes urbanos que más preocupan son las partículas materiales (PM10 y PM2.5).

No existe un ensayo específico para evaluar la influencia de una mezcla bituminosa en el desgaste de los neumáticos en laboratorio. Por lo tanto, se ha simulado un procedimiento para poder cuantificar el desgaste de una superficie de caucho cuando fricciona con la mezcla bituminosa objeto de estudio. Al igual que en el ensayo anterior, al no existir ensayo normalizado, los valores obtenidos serán orientativos, de los que no podrán obtenerse conclusiones definitivas.

Referencia	Macrotectura	Porcentaje de pérdida de caucho
3UP	0.7	3.08
4UP	1.3	3.42
1UP	1.1	3.50
5UP	1.1	3.48
7UP	0.8	3.59
6UP	0.9	3.91
2UP	1.8	3.91

Así pues, y con el objetivo de conocer algo más este proceso, se ha utilizado el péndulo de fricción inglés TRRL que se usa para comprobar la resistencia al deslizamiento que tiene una superficie, procedimiento definido en la norma UNE-EN 13036-4 [8]. Este ensayo intenta simular la fricción entre una pastilla de caucho y un pavimento provocando un desgaste de la pastilla de caucho.

Se han realizado 2000 simulaciones del ensayo sobre la superficie de las mezclas a estudiar, provocándose un desgaste del caucho de la pastilla. Se ha calculado el porcentaje de pérdida de caucho obtenido en cada mezcla estudiada. Los resultados obtenidos han sido los siguientes (Tabla 3)

Otro tipo de contaminación del tráfico rodado con origen directo es la acústica. El estudio de este pará-

metro se expone más adelante ya que se ha realizado directamente sobre las pruebas en obra.

3. Validación de las mezclas diseñadas. Tramos de prueba

Para validar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se han realizado unos tramos de prueba con las mezclas bituminosas de referencia que habitualmente se utilizan en las capas de rodadura (AC16 SURF S y BBTM-11) y otros tramos con mezclas AUTL-5.

3.1. Configuración de los tramos de prueba

Los tramos de prueba se han realizado en la carretera CV-809 de Villena (Alicante) a Caudete (Albacete) con longitudes de entre



Figura 5. Péndulo de fricción. Detalle de las pastillas de caucho utilizadas y su desgaste mediante el ensayo.

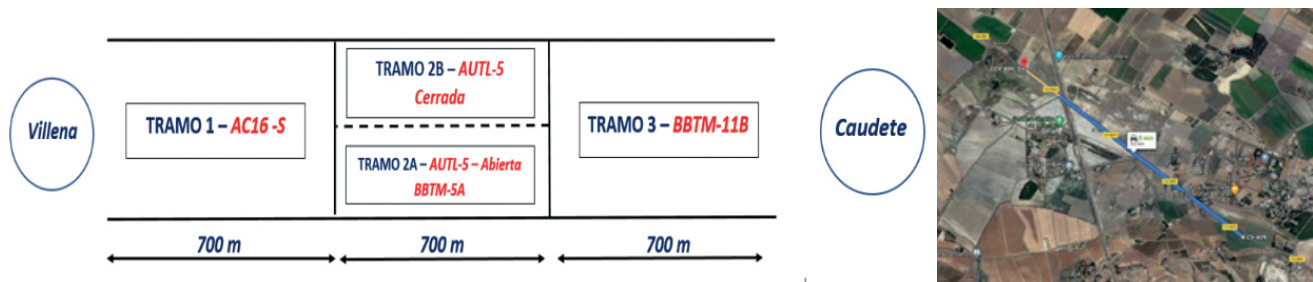


Figura 6. Configuración y ubicación de los tramos de prueba.

700-1000 metros para cada tipo de mezcla. La configuración y características de las mezclas bituminosas de los tramos prueba son los siguientes:

- SECCIÓN 1.- Mezcla de referencia en caliente tipo AC 16 SURF 35/50 S. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 160 °C.
- SECCIÓN 2A.- Mezcla semicaliente tipo AULT-5 45/80-65. Granulometría abierta. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 140 °C.
- SECCIÓN 2B.- Mezcla semicaliente tipo AULT-5 45/80-65. Granulometría cerrada. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 140 °C.
- SECCIÓN 3.- Mezcla de referencia en caliente tipo BBTM-11B 45/80-65. Árido grueso porfídico y árido fino calizo. Temperatura de fabricación 165 °C.

3.2. Ensayos prestacionales y de validación

Una vez realizados los tramos de prueba, se han realizado ensayos para comparar propiedades y prestaciones de los diferentes pavimentos. Las características estudiadas están relacionadas con los siguientes aspectos:

3.2.1. Prestaciones mecánicas

A las mezclas que componen los tramos de prueba se les han realizado los ensayos volumétricos y mecánicos que están descritos en los art. 542 y 543 del PG-3, así como otros ensayos mecánicos que no están en estos artículos como son el ensayo Marshall y de rigidez. (Tabla 4).

Según los resultados, se aprecia que las prestaciones mecánicas de las mezclas tipo AULT-5 cumplen los requisitos que marcan los artículos del PG-3 para mezclas bituminosas para carreteras, y sus prestaciones son similares a las obtenidas en las mezclas de referencia. Hay

que tener en cuenta que las mezclas AULT-5 se han fabricado a menor temperatura que las mezclas de referencia mediante la técnica de espumación de betún.

3.2.2. Ensayos relacionados con el coeficiente de rozamiento

Para la evaluación de la resistencia al deslizamiento se han empleado los mismos ensayos que en la etapa de laboratorio, realizando los ensayos de péndulo, macrotextura y Wehner & Schulze al principio de la puesta en servicio de la vía; posteriormente, se ha realizado el ensayo de Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT) mediante el camión SCRIM.

Según los resultados obtenidos sobre las mezclas empleadas, todas presentan buenos valores de CRT, siendo especialmente altos en las mezclas del tramo 2 correspondientes a las mezclas tipo AULT-5, tanto la abierta como la cerrada, siendo esta última ligeramente superior. De igual forma, se aprecian valores superiores de este tipo de

Tabla 4. Resultados de ensayos de prestaciones mecánicas de los tramos de prueba

Tipo de mezcla	Contenido de betún (%)	Densidad aparente (kg/m ³)	Huecos mezcla (%)	Ensayo Marshall		Sensibilidad al agua		Ensayo rodadura			Módulo resiliente (MPa)
				Estabilidad (kN)	Fluencia (mm)	ITSd (kPa)	ITSR (%)	WTS	RD	PRD	
S1	4.63	2.471	4.6	19.6	1.8	2.120	95.1	0.063	2.55	4.3	6.409
S2A	5.55	2.204	15	9.9	2.3	1.550	90.3	0.051	1.85	4.6	2.569
S2B	5.53	2.304	10.7	15.6	2.3	1.920	90.9	0.049	1.76	4.4	3.279
S3	4.82	2.246	14.2	-	-	1.610	92.3	0.055	1.92	4.9	2.934



Figura 7. Ensayos de resistencia al deslizamiento y extracción de testigos para W&S.

mezclas en los resultados del péndulo de fricción realizados al inicio de la puesta en servicio de la vía. En el ensayo de Wehner & Schulze se aprecia que al principio las mezclas del tipo BBTM presentan un mayor coeficiente de rozamiento, pero a medida que van avanzando los ciclos de pulimento las mezclas de AUTL ofrecen un mejor comportamiento, superando los valores de la BBTM.

A continuación, se pueden ver los resultados obtenidos en las Tablas 5, 6 y 7 y en las Figuras 8 y 9 de cada uno de los ensayos realizados.

- Macrotextura superficial – MTD. - UNE-EN 13036-1 realizada sobre la superficie del pavimento. (Tabla 5).
- Ensayo del péndulo de fricción – PTV. - UNE-EN 13036-4 realizado sobre la superficie del pavimento extendido. (Tabla 6).

- Medidas de fricción después del pulimento. Ensayo W&S.- UNE-EN 12697-49 realizado en laboratorio de testigos extraídos del pavimento extendido. (Figura 8).
- Coeficiente de rozamiento transversal (CRT): SCRIM. - UNE 41201 IN [7], UNE-EN ISO 13473 [8], realizado mediante el vehículo de Applus (dos años después de la puesta en servicio de la vía). (Tabla 7) (Figura 9).

Tabla 5. Resultados de ensayos de Macrotextura superficial a los tramos de prueba

Código	Tipo mezcla	Localización	Profundidad de la textura superficial-MTD	
Tramo-1	AC 16 SURF 35/50 S	PK 3+200 sent. Villena	0,699	0,7
		PK 3+200 sent. Caudete	0,723	
Tramo 2A	AUTL-5 CP Abierta	PK 3+700 sent Caudete	0,662	0,7
		PK 4+200 sent Caudete	0,673	
Tramo 2B	AUTL-5 CP Cerrada	PK 3+900 sent. Villena	0,553	0,6
		PK 3+700 sent. Villena	0,658	
Tramo 3	BBTM-11B	PK 4+400 sent. Caudete	1,519	1,6
		PK 4+400 sent. Villena	1,754	

Tabla 6. Resultados de ensayos del péndulo de fricción a los tramos de prueba

Código	Tipo mezcla	Localización	1	2	3	4	5	6	7	PTV	
Tramo-1	AC 16 SURF 35/50 S	PK 3+200 sent. Villena	61	62	60	62	59	60	60	61	63
		PK 3+200 sent. Caudete	65	67	67	67	65	67	66	66	
Tramo 2A	AUTL-5 CP Abierta	PK 3+700 sent Caudete	65	65	67	66	66	67	65	66	67
		PK 4+200 sent Caudete	72	68	68	69	68	68	68	69	
Tramo 2B	AUTL-5 CP Cerrada	PK 3+900 sent. Villena	56	57	58	57	58	58	59	58	63
		PK 3+700 sent. Villena	67	68	69	69	70	68	70	69	
Tramo 3	BBTM-11B	PK 4+400 sent. Caudete	63	63	62	63	60	62	61	62	60
		PK 4+400 sent. Villena	57	57	58	59	60	60	59	59	

3.2.3. Ensayos relacionados para identificar la influencia del pavimento en el consumo de combustible

Se han llevado a cabo dos ensayos para comprobar cómo podría influir el tipo de mezcla asfáltica en el consumo de combustible de los vehículos. Previamente, para garantizar que los resultados solo dependen del tipo de pavimento y no de la regularidad superficial de cada uno de los tramos, se han realizado comprobaciones del Índice de Regularidad Internacional (IRI), obteniendo valores inferiores a 1.5 dm/hm que superan el 85% en todos los tramos de forma homogénea y el 100% de los tramos están por debajo de 1.8 dm/hm.

Los ensayos para la evaluación del consumo de combustible han sido los siguientes:

Coefficiente de Resistencia a la rodadura- Método de desaceleración (Coastdown).

El consumo de combustible de un vehículo depende parcialmente, entre otras causas, de la resistencia que tenga dicho vehículo a rodar por una superficie. Esta resistencia de rodadura depende de las dos superficies que están en contacto: el neumático y el pavimento.

Este ensayo se lleva a cabo dejando que un vehículo ruede libremente a partir de una velocidad definida sin acción del motor (embrague presionado, punto muerto...) a lo largo del tramo definido para ensayo. Las diversas fuerzas que actúan sobre el vehículo harán que la velocidad vaya disminuyendo paulatinamente. Una de estas fuerzas es la resistencia a la rodadura. A través de un sistema GPS se lleva a cabo un registro de dicha variación de la velocidad del vehículo a lo largo del tramo de ensayo que servirá como base del cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura, así como, la posición en cada momento.

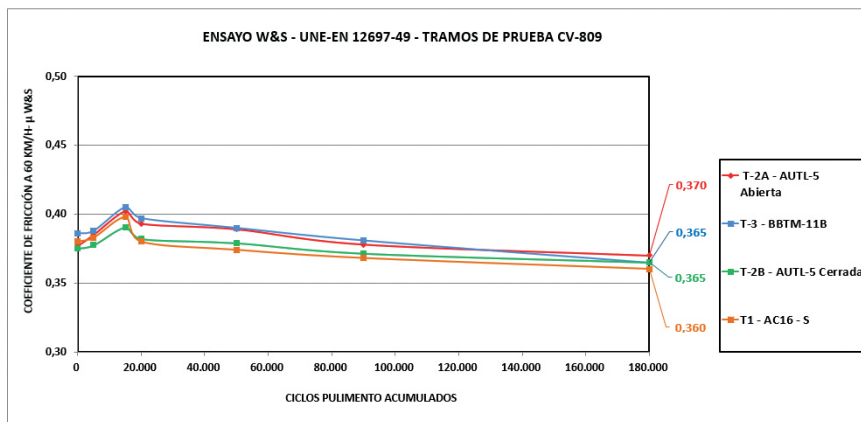


Figura 8. Ensayos de fricción W&S sobre testigos de extraídos de los tramos de prueba



Figura 9. Izqda: Resultados CRT y textura de la mezcla AUTL. Dcha. Vehículo utilizado en el ensayo SCRIM.

Tabla 7. Resultados de ensayos del péndulo de fricción a los tramos de prueba

Tramo	Tipo mezcla	Vía	CRTmedio	Macrotextura
1	AC 16 SURF 35/50 S	1	73,5	0,8
		2	76,1	0,8
2	AUTL-5 CP Abierta	1	83,6	0,8
	AUTL-5 CP Cerrada	2	84,6	0,8
3	BBTM-11B	1	73,7	1,3
		2	77,7	1,3

Se ha realizado el ensayo a distintas velocidades de lanzamiento: 90, 80 y 70 Km/h. Se han obtenido gráficas que relacionan la variación de velocidad con el tiempo y, mediante cálculos matemáticos, se ha obtenido el coeficiente de resistencia a la rodadura (CRR) del tramo analizado.

Los resultados han sido los reflejados en la (Tabla 8).

Como puede observarse en los valores obtenidos (Tabla 8) los valores

más altos corresponden a los tramos de mezclas AUTL, que no coinciden con los resultados obtenidos en el proceso seguido en el laboratorio, por lo que parece complejo llegar a alguna conclusión sin realizar más ensayos al respecto.

Determinación del consumo de combustible de un vehículo mediante caudalímetros externos

El propósito de este ensayo es realizar una comparación del consumo

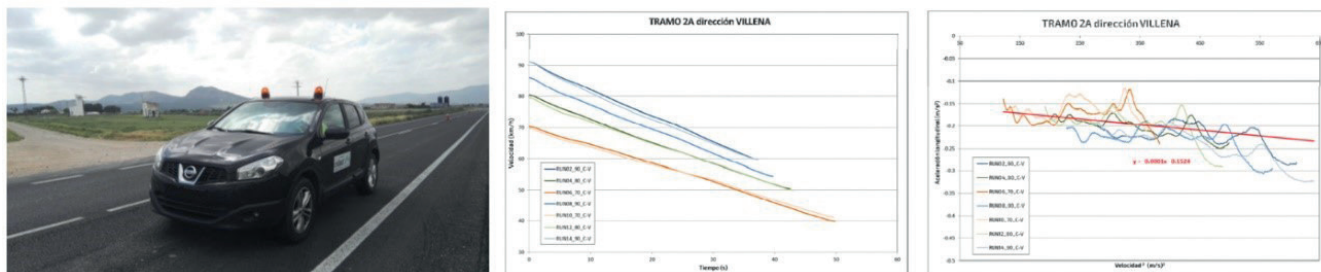


Figura 10. Vehículo utilizado en el ensayo. Gráficas obtenidas



Figura 11. Vehículo de ensayo y detalle instalación de los dos caudalímetros

Tabla 8. Resultados de CRR en los tramos de prueba

Tramo de prueba	Crr
S1	0.0140
S2A	0.0155
S2B	0.0166
S3	0.0125
73,7	1,3
77,7	1,3

Tabla 9. Consumos de combustible obtenidos en los tramos de prueba

Variable	S1	S2A	S2B	S3
Consumo (l/100 km)	2.966	2.814	2.790	2.714
Ahorro de combustible (l/100 km)	-	0.152	0.176	0.252
% Reducción de consumo	-	5.128	5.933	8.483

Tabla 10. Índices de CPX obtenidos a distintas velocidades en los tramos de prueba

CPX - dB(A)		
Tramo de prueba	40 km/h	50 km/h
S1	83.7	86.3
S2A	79.9	82.8
S2B	80.7	83.2
S3	84.4	86.3

obtenido en cada tramo de prueba de modo que pueda concluirse cuál de los cuatro tipos de mezcla a estudiar es más eficiente para la conducción desde el punto de vista energético.

Se exponen los resultados para todos los tramos estudiados. (Tabla 9)

Según los resultados, se aprecia que en ambos ensayos el tramo 3 de la mezcla BBTM-11B tiene menor resistencia a la rodadura y presenta un menor consumo de combustible medido mediante caudalímetro. Sin embargo, según el ensayo realizado, las mezclas del tramo 2 del tipo AUTL-5

presentan un menor consumo de combustible que la correspondiente al tramo 1 de AC16 SURF; este hecho sería contradictorio con la prueba anterior, aunque coincidiría más con la realizada en el laboratorio. Por lo tanto, estos resultados no se pueden considerar concluyentes, siendo necesario realizar en el futuro un estudio con mayor profundidad.

3.2.4. Estudio de las propiedades acústicas

A los cuatro tramos de prueba se les ha realizado el ensayo CPX

(close- proximity method) descrito en la norma ISO 11819 parte 2 [9]. Este método permite conocer cómo influyen los pavimentos de cada tramo de prueba en el ruido o presión sonora que provocan los vehículos al rodar por ellos.

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos para las muestras analizadas a las velocidades de 40 y 50 km/h. Tal y como se observa, los tramos 2A y 2B presentan un índice CPX inferior al resto.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las mezclas bituminosas

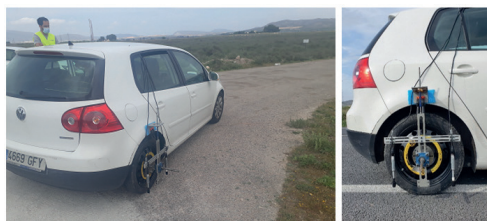


Figura 12. Dispositivo empleado para colocación de los micrófonos.

AUTL-5 empleadas en la construcción de los tramos 2A y 2B presentan un índice CPX inferior en 4 dB(A) con respecto a los valores obtenidos en los tramos 1 y 3 considerando las mezclas empleadas en estos tramos.

4. Conclusiones

Para los diseños realizados en este trabajo para cada una de las mezclas empleadas, las mezclas semicalientes AUTL-5 fabricadas con espuma de betún obtienen prestaciones mecánicas que cumplen con los requisitos determinados en el PG-3 para carreteras de todo tipo de tráfico. Los valores alcanzados de las propiedades mecánicas son similares a los alcanzados con mezclas convencionales para capa de rodadura (AC16 SURF S y BBTM-11B).

Las prestaciones antideslizantes de las mezclas AUTL-5 obtenidas tanto en laboratorio como en obra han sido adecuadas, obteniéndose valores superiores a los obtenidos con el resto de mezclas empleadas y diseñadas para este estudio. Los resultados de CRT obtenidos con el SCRIM en las mezclas estudiadas, en su estadio inicial, se aproxima a la tendencia previa obtenida con los ensayos de laboratorio realizados mediante la máquina de Wehner & Schulze, lo que podría señalar a este ensayo como un buen método para predecir en laboratorio el comportamiento frente al rozamiento de las mezclas.

El consumo de combustible obtenido en este trabajo al rodar por un pavimento con mezcla tipo AUTL-5 es inferior al consumo obtenido al rodar por un pavimento con mezcla tipo AC16 SURF S. Con respecto a los pavimentos con mezclas tipo BBTM-11B, los valores obtenidos de consumo de combustible son levemente inferiores a los alcanzados con las mezclas tipo AUTL-5. En cualquier caso, son necesarios más estudios, con tramos de obra más largos para poder confirmar o descartar estos resultados.

Según los resultados obtenidos en el tramo de prueba, el ruido generado por el tráfico al rodar por pavimentos con mezclas tipo AUTL-5 puede llegar a reducirse de forma importante, al compararlo con pavimentos con mezclas tipo AC 16 SURF y BBTM-11B con el diseño empleado en este estudio. Serían necesarios más estudios para poder comparar la evolución con el tiempo.

Resumiendo, las mezclas tipo AUTL-5 fabricadas a menor temperatura, pueden ser una alternativa para potenciar ahorros de materiales y energía sin menoscabar las prestaciones mecánicas y de seguridad, pudiendo ayudar a disminuir la contaminación acústica en las ciudades.

5. Referencias

[1] Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

[2] AENOR (2012). Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 4: Método para medición de la resistencia al deslizamiento /derrape. Ensayo del péndulo.

[3] AENOR(2002). Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte:1 Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el método el círculo de arena.

[4] Asociación Española de Normalización y Certificación (2014). Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 49: Determinación del rozamiento tras el pulido.

[5] ISO (2018). Passenger car, truck and bus tyre rolling resistance measurement method – Single point test and correlation of measurement results

[6] AENOR (2021). Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.

[7] ISO (2017). Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.

[8] AENOR (2018). UNE 41201 IN Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Procedimiento de medición del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) con equipo SCRIM.

[9] AENOR (2020). UNE-EN ISO 1473 Caracterización de la textura de los pavimentos mediante el uso de perfiles de superficie. Parte 1: Determinación de la profundidad media del perfil. (ISO 13473-1:2019).

www.normativadecarreteras.com



Legislación y normativa técnica de carreteras
Acceso libre y gratuito

Un día normal, en futuro cercano

(Un escenario futuro: carreteras para mejorar la sociedad)

(Gestión imprescindible de la red de carreteras que viene)



Jesús Rubio Alférez

Ingeniero de caminos, canales y puertos

Manuel G. Romana

Ingeniero de caminos, canales y puertos

Introducción

Este artículo puede resultar extraño en un contexto de artículos técnicos, pero intenta reflexionar acerca de cómo están cambiando las reglas y el propio terreno de juego en el que nos movemos los que nos dedicamos a las carreteras.

Del saber adaptarse a los cambios dependerá nuestra supervivencia como grupos expertos en una función social y económica absolutamente relevante, que quizás por esa importancia es por lo que muchos colectivos querrían ser los protagonistas de cuestiones que están siendo bien desarrolladas en la actualidad por equipos multidisciplinares, liderados en muchos casos por ingenieros de Caminos.

La mirada al futuro debe también influir en los contenidos y métodos que se consideren necesarios en la formación de las personas que opten

por estudiar ingeniería de Caminos o ingeniería Civil. Por eso esta ficción ubicada en un futuro que se aproxima a velocidades impensables hace unos pocos años, busca destacar campos que ya son presentes como tallos tiernos que tienen muchas probabilidades de convertirse en grandes árboles de nuestro ecosistema.

Una buena mañana

Adrián se levanta, y, justo antes, bosteza mientras mira su agenda proyectada en el techo de su habitación. Hoy no teletrabaja como es habitual, porque le toca una guardia presencial en el centro de control del corredor viario. Tras el aseo y un desayuno de proteínas e hidratos de carbono, sugerido por ComidasGPT, camina hasta donde le ha citado el microbús autónomo de su zona. Adrián ya le indicó el destino, en una oficina subterránea con grandes claraboyas, y paisajes proyectados en sus paredes.

Hoy, dice su grupo compartido, Elena ha elegido paisajes de la Sierra de Guara.

Adrián suele utilizar un vehículo compartido de transporte de última milla para el último tramo, pero hoy ha pensado que paseará un poco, para cumplir con una prescripción médica. El móvil avisará al asistente virtual de su doctora del cumplimiento de lo que estableció: entre 15 y 30 minutos de ejercicio suave cinco de los siete días de la semana.

Al sentarse en su puesto le asignan el seguimiento detallado de un viaje. Este seguimiento lo elige el sistema, y es parte de la observancia aleatoria, establecida muestralmente para caracterizar mejor la información de los viajes que se producen. Aunque este seguimiento podía hacerse en remoto, Adrián no ha dado su consentimiento a que se monitorice su hogar mientras es un puesto de trabajo. Esa es una condición imprescindible para que la privacidad de los usua-



rios esté adecuadamente preservada. Toca, entonces, desplazarse.

En el monitor están registrados los datos como una línea de tiempo. Comienza cuando la viajera solicita el viaje, indicando origen, destino, nivel de urgencia del viaje y la hora deseada de llegada. A esta viajera, referenciada como 204P3B070Tq1328 (204P, para abreviar), para preservar su anonimato -cosas de la protección de datos-, el sistema centralizado MappS (Movilidad agregada para prestar Servicio) le ha reservado una plaza en un vehículo dedicado de tamaño medio desde el intercambiador de Santa Eugenia, en Madrid, hasta el intercambiador Turia 1 en Valencia. La usuaria podría optar también por un vehículo del parque reservado del grupo de empresas que se ha aliado en un grupo heterogéneo, y por ello es imprescindible que seleccione en el terminal designado (en su caso, una tableta plegable) que prefiere. Ha marcado la opción "indiferente", ya que piensa leer y escuchar teatro leído durante el viaje, en esta ocasión no va a mantener ninguna reunión de trabajo durante el viaje de ida. Quizá a la vuelta, si conviene. El sistema cierra entonces su viaje, desde el vehículo

que le llevará desde su domicilio al intercambiador, en este caso, compartido y, por supuesto, también autónomo, y la plaza en la minivan autónoma con asientos reclinables con autonomía confirmada para este viaje de larga distancia.

204P, al llegar al intercambiador, se encuentra el vehículo con su plaza en modo asiento, tal como dispuso. La alternativa, en modo cama, sólo la utiliza en los viajes nocturnos. Aunque hay que reconocer que la cama reclinada permite mirar la pantalla de techo, esta mujer prefiere leer, algo que cada vez es un lujo menos frecuente. Habla con el asistente virtual, y él -con la voz elegida, la de un famoso actor de tragedia histórica- le informa de cómo será su viaje. Una de las posibilidades de este vehículo, hoy, es hacer una parada breve en uno de los miradores panorámicos del recorrido, una vista paisajística interpretada. La interpretación puede ser en contexto literario, social, medioambiental o cultural. Durante el viaje también decidirá si quiere parar en algún sitio para comer o disponer de las provisiones disponibles en el vehículo.

Adrián registra una observación: el tiempo de consulta de 204P es ligeramente superior a la media, porque la viajera se ha entretenido viendo las opciones de información cultural y patrimonial. De hecho, se alargará más, porque ve que 204P solicita información sobre uno de los puentes históricos que está en el recorrido, para activar una comunicación sobre sus carácter e historia en el momento en que esté recorriéndolo.

Tras realizar la selección de actividades deseada, el vehículo comienza su recorrido. El vehículo se conecta con los archivos propios en la nube, ya que 204P ha aceptado previamente que sus búsquedas de información queden registradas en el servidor del Consorcio de Movilidad del corredor. Cierra el panel auxiliar de información de su viaje en el cual se le informa de su ubicación, de la ausencia de incidencias en la carretera y del tráfico, que no se va a generar ningún retraso, la hora exacta prevista de llegada y el margen de error histórico, y de esta semana en la misma franja horaria, un 2,2 %.

El vehículo se incorpora a una caravana de vehículos autónomos que circulan todos a la misma velocidad y a poca distancia unos de otros, y Adrián conecta el registrador del observador, por si fuera necesario consultar algún detalle dentro del plazo estipulado de auto borrado de viajes monitorizados, 12 horas.

Adrián piensa en la promoción que le corresponde por haber terminado sus estudios superiores recientemente. Puede optar a muchos puestos dentro de su institución: control de datos, gestión de incidencias, operaciones de mantenimiento de la carretera y servicios anexos, drones, abastecimiento de vehículos de mercancías, o control de los accesos a nodos estratégicos multimodales, que incluyen los helipuertos y nodos de entrada de camiones a los trenes en las autopistas ferroviarias. Hay también cuestiones transversales que tienen importancia en los que los ascensos son más frecuentes por la visibilidad de sus trabajos: atención a los usuarios vulnerables, o control de emisiones, para seguir tendiendo a emisiones cero. La neutralidad en las emisiones evidentemente quedó superada ya hace años, y ahora las zonas revegetadas dan un efecto positivo en CO₂, pero ese campo siempre tiene objetivos de mejora, y por eso ofrece un futuro profesional interesante a medio y largo plazo.

Si pudiese elegir, de todas las posibilidades que existen en el Consorcio Europeo de Movilidad, la de más prestigio es la de responsable de la comunicación infraestructura-vehículos, ubicada en Berlín, pero hay dos de las delegaciones que tendrían la ventaja de la permitir una residencia cercana a la que tiene hoy. Menos estrés familiar. La primera es la de control permanente de los túneles de la Red Estratégica, ubicada en España, y por ese motivo es donde se realizan casi la mitad de los simulacros de incendios y accidentes. Este puesto le permitiría integrarse en un equipo español de

relevancia mundial. La segunda delegación, que también se encuentra en España, es el nodo peninsular de comunicaciones terrestres vinculadas a la carretera. La mayor importancia que han cobrado las carreteras ahora se debe a la red de canales terrestres de fibra ubicados en la zona colindante a la plataforma de circulación de vehículos. Esta red de fibra, de centenares de miles de kilómetros, es indispensable como complemento y alternativa a la red de satélites. Ahora que la garantía de fluidez en la información es mucho más importante que la de los vehículos, tiene una sub base en la península, conectada con el resto de las sub bases europeas.

Al pensar en las cuestiones locales que son importantes, pero que le reducirían las posibilidades de ascenso, piensa en las variadas fuentes de energía de producción local para la recarga de vehículos pesados. Todas ellas son renovables desde hace décadas, pero no hay ninguna que pueda abastecer las necesidades del conjunto. Por eso la producción local de hidrógeno verde, los tramos con catenaria que permiten que los camiones recarguen las baterías y todo el conjunto de biocombustibles, son áreas de trabajo a considerar.

El papeleo no le gusta tanto como las cuestiones tangibles: entre la gestión de la flota de drones y las auditorías permanentes del estado de la vía no tiene duda, aunque la gestión de los drones con inteligencia artificial hace que incluso ese trabajo sea mucho de estar pendiente de pantallas, sin necesidad de salir casi nunca al terreno. Para eso, mejor algún observatorio ejecutivo de la intermodalidad eficiente "JIT 100/100", que obliga a estar permanentemente negociando con distintas administraciones que, a veces, no entienden que esa eficiencia se da porque se controla permanentemente, no porque el sistema de transportes funcione así espontáneamente.

El organismo responsable de los servicios al usuario de la carretera tiene una faceta comercial interesante porque está muy vinculado con el turismo del entorno, pero a Adrián le gusta más la parte ingenieril y aquí mandan los de mercadotecnia.

También prevalece la mercadotecnia en la gestión de los datos masivos, tanto los que se envían a cada uno de los vehículos que circulan por la red, como la que se recibe permanentemente de las personas que están haciendo el viaje y las mercancías que están siendo transportadas. Esos dos flujos de información real, de unos usuarios cautivos mientras están en su trayecto y geolocalizados en todo momento, tienen un valor de mercado que supone una de las mayores fuentes de ingresos del Consorcio.

La información al usuario incluye cosas curiosas como ir cambiando la anchura de los carriles según las condiciones de congestión, con señalización horizontal variable. Las balizas luminosas en la carretera cambian la anchura de carriles con una cierta frecuencia para hacer más fluido el tráfico en las zonas metropolitanas y debe ser entretenido ser responsable de flujos físicos, que tiene a su cargo el control de todas las electrolinerías, todos los sistemas de carga de los vehículos y los accesos terrestres a los nodos intermodales y micro-hubs de distribución de última milla, pero si puede elegir elegirá ser responsable de flujos digitales.

El viajero controlado por Adrián ha llegado a Valencia, ha decidido pasear hasta su destino final y aquí se termina su observación directa. Adrián vuelve de la abstracción a la realidad al ver la puntuación final que el viajero ha hecho de su trayecto, y siente que para llegar a tener una parte de la responsabilidad que le ilusiona, él también tendrá que recorrer un largo viaje.

Carreteras solidarias



Antonio Sánchez Trujillano

Presidente del CT de Carreteras y Medio Ambiente

Un proverbio chino, que ya por sobradamente conocido podría considerarse universal, dice en su versión más completa: “Dale un pescado a un hombre y lo alimentarás por un día. Enseña a un hombre a pescar y lo alimentarás por toda la vida. Si un hombre tiene hambre, no le des un pez, enséñale a pescar”.

Parece que ese pudiera ser el lema que inspira a tantas y tantas instituciones benéficas que trabajan en la cooperación ayudando a personas empobrecidas de países empobrecidos o no, para que puedan salir de la pobreza y a partir de ahí valerse por sus propios medios.

Muchas veces, tras una intención indiscutiblemente loable y de una manera a veces no muy explícita, lo que se viene a hacer con estos proyectos de cooperación es más bien desplazarse hasta los lugares más recónditos del planeta, con no poco despliegue de medios, para entregarles el pez y hacerles ver lo maravillosa que es su iniciativa, y se hace muy poco por que aprendan a pescar.

Después de dejarles ejecutado un determinado proyecto y de hacer las visitas de rigor ante las pancartas y demás medios propagandísticos que describen el proyecto y la entidad que lo patrocina y que ha asumido su financiación se les deja a los supuestos beneficiados para que a partir de entonces sean ellos quienes lo mantengan y, en su caso, lo mejoren ya con sus propios medios dando por sentado que disponen de ellos y que los saben aplicar.

Algunas de estas iniciativas, financiadas bien por países que sienten la obligación por razones históricas, estratégicas u otras, de cooperar con los mal llamados países subdesarrollados, o entidades de derecho privado como son las organizaciones no gubernamentales (ONG), tan extendidas por el mundo, se plantean desde la mentalidad de quienes donan y no desde la de aquellos a los que se pretende beneficiar.

Un compañero me contaba que a un determinado país de África, históricamente en situación no ya de pobreza sino de absoluta miseria, un país de Europa, del que tampoco

quiero decir su nombre porque ninguno de ellos aportaría nada relevante al objeto de la anécdota, le había enviado como donación un sistema electrónico de última generación para regular y evitar el riesgo de alcance entre dos trenes que circularan por la misma vía, bien en el mismo sentido o bien en sentidos contrarios.

Habían desembarcado el envío en un determinado puerto del Índico y allí había quedado, sin que quienes lo habían recibido mostrasen interés por que fuera instalado ni quienes lo habían donado lo expresaran por instalárselo.

Cundo este compañero indagó acerca del motivo de que aquel objeto, transcurridos ya meses de su llegada, permaneciera tal y como lo habían desembarcado sin que nadie mencionase por qué y para qué estaba allí, del uso que se le podía dar para sacar algún provecho de sus posibilidades, supuestamente en la seguridad del transporte ferroviario, lo que obtuvo fue la siguiente información.

La potencia europea que en su momento había colonizado aquel territorio, había construido durante su presencia en el país una línea de tren, sólo una, de vía sencilla, que unía la capital con alguna otra ciudad importante, y había sólo un tren, el único que había habido desde el comienzo, un tren que con no pocas averías ya por su antigüedad unida a la falta de mantenimiento en cuanto a conocimientos y a medios, hacía el recorrido unas veces en un sentido y las otras en el inverso.

Al haber un sólo tren en todo el recorrido no había posibilidad de alcance con ningún otro, por lo que no es que sea discutible la utilidad de la donación, sino que en las circunstancias en que se había hecho resultaba totalmente inservible.

No hay que olvidar que el objeto de la donación era material electrónico de última generación, similar al empleado en el país donante para garantizar la seguridad de su tráfico ferroviario, evidentemente mucho más intenso, tanto en número de líneas como en número de circulaciones por ellas.

Podría pensarse que el país donante había llevado a cabo esta iniciativa con su mejor intención de cooperar y ayudar al país receptor a mejorar la seguridad del tráfico ferroviario, que desconociera las circunstancias y la precariedad del ferrocarril local y que no supiera en detalle que lo único que allí había era una vía muy antigua y en condiciones muy deficientes por la que cuando no estaba averiado circulaba un tren, tan antiguo y tan deficiente como la propia vía.

Entrando un poco más en el detalle de saber cómo había llegado hasta allí aquel equipo, precisamente a un lugar del que se podía casi afirmar que no había tren, lo que resultaba era que ese equipo se fabricaba en una empresa del país que hacía la



donación y esta empresa pasaba por dificultades financieras importantes que a corto plazo podían llevarla a la quiebra.

El gobierno correspondiente, por la normativa que tenía implantada no podía financiar directamente los importes necesarios para sacar adelante a dicha empresa y evitar su cierre, por lo que entendió que una manera indirecta de conseguirlo sería comprarle su producción y donársela a un tercero en una maniobra de aparente altruismo, y así fue como terminaron en un país que no podía sacar provecho alguno de aquellos equipos electrónicos de última generación, hasta que algún chatarrero tuviera a bien llevárselos del muelle en que fueron descargados, posiblemente ya inutilizables teniendo en cuenta las características del clima en cuanto a humedad, calor, lluvias, saqueos, ratas y otros elementos relativamente frecuentes en buena parte de los puertos africanos y tal vez del resto del mundo.

Volviendo al proverbio del pez y situaciones acaso no tan esperpénticas como la descrita, sí podemos apreciar que en muchos casos la cooperación consiste en hacer algo que puede tener interés o no para

aquel con quien se coopera, en muchos casos ninguno, por cuanto que se crea una cierta necesidad que antes no tenía pero que es algo cotidiano para quien viene a hacérselo y se lo hace sin dejar de autocumplirse por ello y, en su caso, de desgravar impuestos o de convertir su actuación en publicidad, publicidad benéfica que se rentabiliza mucho más y mejor que cualquier otra modalidad convencional de publicidad.

Proyectos de esta naturaleza los hay de los más variados y dispares, muchos de ellos del ámbito de la ingeniería, dado que muchas facetas de la ingeniería civil contribuyen por su propia razón de ser a la mejora en la calidad de vida y al progreso de las poblaciones para las que se ejecutan.

Unos de los más habituales dentro de nuestra profesión son los que tienen relación con el agua, entendiéndose como tal el abastecimiento, el saneamiento y la depuración de las aguas residuales, pero tampoco se quedan atrás los referentes al transporte, particularmente las carreteras, concebidas no como autopistas y grandes vías de comunicación con tráficos de miles y miles de vehículos al día como aquí podríamos imaginar

por similitud con las nuestras, sino carreteras sencillas, casi nunca asfaltadas, que unen poblaciones con otras de mayor entidad en las que hay hospitales, colegios o cualesquiera otros servicios que cualquier ser humano pueda necesitar para vivir dignamente.

En poco tiempo estas actuaciones del ámbito de las carreteras adolecen de deficiencias que serían obvias si alguien tuviera la paciencia de ver lo que pasa allí una vez celebrada la inauguración y cómo van experimentando una cierta degradación por el paso del tiempo y de los dos agentes que más intervienen en este inevitable proceso, el tráfico y el clima.

Así, recuerdo que un sencillo sistema de potabilización de aguas con cloro quedó inmediatamente inservible en el momento en que se terminó el cloro en el dosificador correspondiente, porque ni en aquellos poblados ni en su entorno, cercano o lejano, existía una droguería en la que se pudieran comprar componentes como el cloro, que en un país más avanzado parecería inverosímil tener dificultad para encontrar algo tan necesario como el cloro.

Y en el mundo de la carretera que es con el que quiero terminar, también viene sucediendo algo similar. Se consigue en alguna convocatoria de las muchas que se publican el presupuesto para construir una modesta carretera en donde apenas hay un camino que podríamos llamar rural, intransitable y peligroso por muchos motivos, un camino como el que frecuentemente podemos ver en las películas rodadas en países africanos, por las que unos actores famosos transitan admirándose y disfrutando de la belleza de los paisajes de su entorno, pero que se limitan a unas imágenes que inducen a engaño, tomadas en apenas unos metros del trazado de ese camino y

en unas condiciones idílicas de luz y de seguridad que una vez pasado el momento del rodaje, por lo general, no se vuelven a dar.

Sin embargo, por ese camino tienen que transitar en vehículos como los que allí se utilizan, con suspensión muy dura, de ballestas, personas mayores, niños o cualquier otro ser humano, o mercancías, que se pueden deteriorar por los baches, los charcos, los vados y los puentes en mal estado por falta de conservación, u otros muchos riesgos consustanciales con su situación de abandono, caminos por los que nadie transita por capricho o por turismo sino por necesidad, dada la incomodidad y la inseguridad que supone hacerlo.

Entiendo que una actividad como el mantenimiento que evidentemente no cuenta con el atractivo y la espectacularidad de hacer un nuevo proyecto y hacerse las fotografías pertinentes con motivo del final de las obras de construcción y de la inauguración y apertura al tráfico no puede quedar relegada, pues es tan necesaria o más que el propio proyecto.

Y es ahí donde la cooperación debe estar presente para que sus iniciativas sean estables y eficientes, y se les preste atención, aunque no tengan el atractivo de la brillantez y la singularidad de los nuevos proyectos.

Un aspecto importante en favor de estas iniciativas es que los presupuestos para llevarlas a cabo son significativamente inferiores a los de la construcción de nuevas carreteras, únicamente hay que dedicarles atención para llevar a cabo las operaciones de mantenimiento con conocimiento y eficacia, y sobre todo, en el momento más apropiado para que su coste sea el menor posible y no se reduzcan las condiciones de seguridad del tráfico que deba transitar por ellas.

Proximamente se celebrara el Congreso Mundial de Carreteras patrocinado por la Asociación Mundial de Carreteras, en el que estarán representados gran parte de los países del mundo, sin excluir ninguno, ni por rico ni por pobre, y desearía humildemente que sin detrimento de plantear en ese foro los grandes avances tecnológicos y de todo orden habidos desde el anterior congreso, se trataran y no quedaran al margen estos asuntos que aquí dejo enunciados, que también deberían ser importantes para la asociación por serlo para algunos de los estados miembros de ésta, así como para quienes no tienen voz para hacerlos llegar hasta tan importante foro, y pedir que se les dedique la atención que verdaderamente merece el mantenimiento de los proyectos, y que el esfuerzo y el altruismo de quienes los financian tenga la utilidad que verdaderamente desearían que tuvieran.

Sólo añadir que esta atención que solicito con estas líneas no es tanto en lo que se refiere a presupuestos o a medios económicos y dineros, que siempre han escaseado en el ámbito de la conservación de las carreteras y no los excluyo, sino a apoyo en asistencia técnica y asesoramiento en la gestión de estas infraestructuras para que sean los propios beneficiados quienes aprendan a gestionarlas con sus propios medios, de modo que no pierdan su utilidad y su funcionalidad por falta de los recursos, modestos en muchas ocasiones, que comporta su mantenimiento.

Puentes de madera

**Francisco Santos**

Ingeniero Industrial

Media Madera Ingenieros Consultores S.L.

Julio Vivas

I.C.C.P

Media Madera Ingenieros Consultores S.L.

La madera como elemento de construcción

Se estima que existen en el mundo alrededor de 16.000 especies de madera diferentes, de las cuales sólo tienen carácter comercial unas 2.000. de este número 500 corresponden a coníferas (abetos, pinos, cedros, etc.) Y 1.500 a frondosas (roble, haya, olmo, encina, etc...). En España se comercializan alrededor de 150 especies procedentes de todo el mundo, de las cuales 100 son frondosas y 50 coníferas.

Históricamente la madera es probablemente la única materia prima renovable que se utiliza a gran escala y en la que su aprovechamiento no daña el medio ambiente. En realidad, la madera no puede circunscribirse a un periodo más o menos largo de la Humanidad, ya que es un material que de forma permanente y continua ha estado presente a lo largo de toda la historia de la civilización. En los países fríos y de abundantes bosques, la madera constituía la totalidad de la estructura y, en los países con menor cantidad de madera, la horizontal y de cubierta.

Hay que reconocer que ha habido cierta reticencia a utilizar la madera estructural como elemento sustitutivo

del acero y del hormigón, y ésta se ha debido en gran medida a tres condicionantes históricos como son sus limitaciones físicas, la durabilidad de las estructuras de madera y su comportamiento a fuego.

¿Por qué madera?

A principios del siglo XX, concretamente durante la II Guerra Mundial y debido a las restricciones que existían para el acero, se producen “mejoras tecnológicas” como fue la aparición de la madera laminada encolada lo que supuso un salto cualitativo y venció definitivamente las reticencias existentes hacia el uso estructural de este material; esto unido a otras mejoras como el desarrollo de su tecnología de secado, técnicas de tratamiento y de transformación permite garantizar el éxito de su utilización.

Del mismo modo, la mayor preocupación y sensibilización medioambiental y cuidadosas políticas de cultivo de bosques provocan que mayores consumos de madera impliquen de forma directa el aumento de la superficie forestal además de suponer un efecto “localizador” y “fijador” para el empleo.

Las ventajas que presenta la madera como elemento estructural son múltiples:

- Elaboración bajo condiciones sostenibles para el medio ambiente.
- Elaboración y transformación con un consumo de energía despreciable frente a otros materiales como el acero o el aluminio:
 - o Una tonelada de madera 430 Kwh
 - o Una tonelada de acero 2.700 Kwh
 - o Una tonelada de aluminio 17.000 Kwh
- Alta resistividad térmica junto a una inercia térmica muy apreciable.
- Gran aislamiento acústico.
- Reciclabilidad y ahorro de materia prima. Una vez finalizado su ciclo de vida, la madera se recicla o se revaloriza como abono o energía calorífica, sin contaminar el medio ambiente.
- Relación peso-resistencia mucho más favorable que en el acero o el hormigón

Respecto al comportamiento a fuego, las estructuras de madera tratada presentan un mejor comportamiento que las de acero en E.L.S. debido a las siguientes razones:

- La baja conductividad térmica hace que la temperatura exterior no llegue rápidamente al interior.
- La carbonización superficial retrasa el efecto de la combustión.
- La dilatación térmica es despreciable.

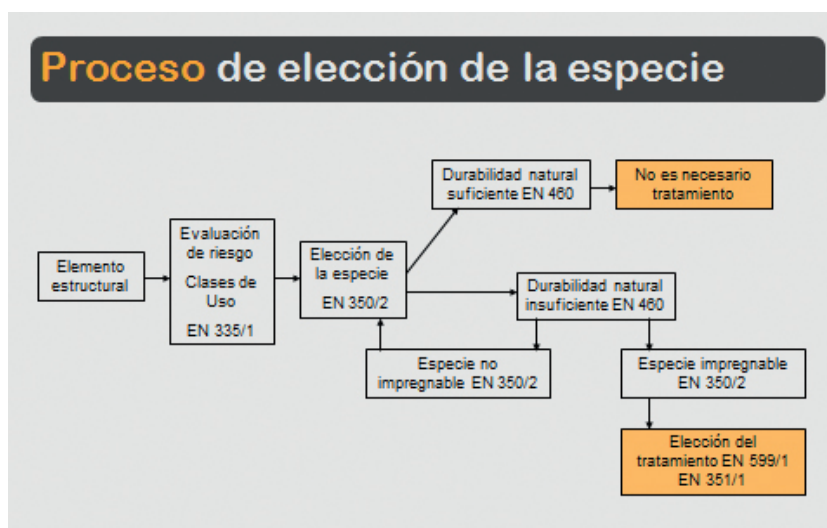
¿Qué madera utilizamos en los puentes?

La protección de los materiales de construcción frente a la agresión del medio (tratamiento contra la corrosión del acero, anodizado del aluminio, recubrimientos mínimos en el hormigón armado, etc.), son procedimientos asumidos por la práctica. Sería por tanto injusto pretender utilizar la madera sin ninguna protección, si las condiciones de utilización lo requieren.

Hemos detectado que tenemos tan interiorizado el uso del hormigón y del acero en la construcción, que si por ejemplo un puente de estos materiales falla es por culpa del proyecto, del montaje o un motivo externo pero en el caso de que falle un puente de madera.... lo primero que hacemos es culpar al material y eso no es justo por eso el primer paso, es elegir qué tipo de madera debemos utilizar.

Así, para empezar, el principal fallo (aunque no se pueda achacar directamente al diseño que también) que nos encontramos en estructuras de madera y especialmente en puentes y pasarelas está relacionado con una inadecuada elección de la especie. La elección de la especie de madera es clave, y en caso de no contar con una especie con una durabilidad natural suficiente para nuestra clase de riesgo debemos asegurarnos de que se trata de una especie IMPREGNABLE, sobre la que poder aplicar el tratamiento químico necesario.

De este modo, cuando vamos a proyectar una estructura en madera debemos preguntarnos a que "clase de riesgo" (denominado "clase de uso" según la norma) va a estar sometida esa construcción para tomar las decisiones adecuadas; en el caso que nos ocupa un puente por definición debemos calificarlo como un elemento de



construcción ubicado al exterior y por tanto sometido a las inclemencias climatológicas.

Así, o la madera tiene una buena durabilidad natural (como la que presentan las maderas tropicales) o deben permitir el tratamiento que mejore su durabilidad, sin que éste acentúe otras consecuencias colaterales o permita manifestarse efectos secundarios no deseados.

Aquí cada proyectista debe asumir el compromiso de que madera elige y asumir sus consecuencias de modo que en base a nuestro conocimiento y experiencia, hoy día y por la ponderación de una serie de factores la elección más adecuada es el PINO SILVESTRE tratado para clase de uso IV antes de laminar. Por un conjunto de motivos técnicos que incluyen, entre otras, las siguientes:

- a) falta de durabilidad natural.
- b) incapacidad de tratamiento.
- c) problemática con el correcto secado.
- d) gran coeficiente de contracción (hinchado-contracción) que perjudica la estabilidad dimensional de la madera perjudicando el comportamiento de las uniones, del encolado y favoreciendo el aumento de delaminados, deformaciones y también el fendado (y, por tanto, también la penetración de agua líquida que perjudica la durabilidad), etc.

Quedan expresamente desaconsejadas cuando no prohibidas especies (o subespecies/variedades) tales como: *Picea Abies* (también conocida como Pícea, Abeto, Abeto Rojo, etc.), *Pseudotsuga* (comúnmente llamado también abeto Douglas, pino-abeto, pino Oregón, etc.), *Pinus Radiata* (también conocido como pino insigne, pino de Monterrey, pino de California, etc.), *Pinus Pinaster* (conocido también como Pino marítimo, pino resinero, pino negro, etc.)

Hay que reseñar, que algunas de las especies anteriormente mencionadas, SI permiten el tratamiento, pero sus características intrínsecas conllevan un comportamiento que afecta a la durabilidad y aspecto de la estructura disminuyendo la vida útil del puente y contribuyendo a esa leyenda negra de que la madera no es el material adecuado.

De este modo, si por ejemplo comparamos el Pino Silvestre con el Pino Radiata, y fijándonos ya sólo en un parámetro como pueden ser sus coeficientes de contracción volumétrica, el del Pino Radiata puede ser del doble que el Pino Silvestre de forma que a menor valor de contracción volumétrica mayor estabilidad dimensional y menor influencia de los procesos de intercambio de humedad por el ambiente en el volumen de forma que esta mejor

prestación en la estabilidad dimensional repercute en un mejor comportamiento de las uniones, los encolados, la aparición de fendas (grietas) y las deformaciones. Recordemos que la madera no dilata pero si hincha y merma en base al grado de humedad y esto favorece la penetración del agua a través de las fendas y esto repercute negativamente en la durabilidad porque favorece la pudrición (el 80% de todas las patologías en construcción tienen que ver de una u otra manera con.... el agua).

¿A qué luces podemos llegar?

Cuando hablamos de puentes de madera quizás la primera idea que nos venga a la cabeza sea algo pequeño como para el estanque o el jardín. Estamos acostumbrados a pensar que el material madera tiene sus limitaciones físicas

Pero ciertamente, conociendo las características del material y un diseño adecuado, podemos llegar a obras realmente espectaculares como nuestro gran puente de madera sobre el Guadalhorce de 270 metros de longitud total, en 5 grandes vanos, siendo el vano centra de casi 70 metros de luz libre entre apoyos.



EL PUENTE DE MADERA RÉCORD DE EUROPA: “MADE IN SPAIN”

Los ciudadanos de Málaga ya pueden disfrutar en el paraje natural de la desembocadura del río Guadalhorce de la pasarela multi-arco que fue diseñada para salvar el río andaluz y dar continuidad a la Senda Litoral que bordea la provincia y que se ha convertido rápidamente en un nuevo icono de la ciudad.

Se trata del puente de madera más grande de Europa, con 273 metros, y poseyendo también el récord de tener el vano de mayor luz libre de toda España para una estructura de este material, casi 70 metros. Esta impresionante infraestructura se convierte, por tanto, en el principal hito de la ingeniería estructural con madera.



Motivación del proyecto

La pasarela está ubicada en un paraje natural de alto valor ecológico. Este entorno natural determina tanto su diseño, basado en formas orgánicas, como el material elegido para su construcción: la madera. Hay que señalar, que la madera es un material natural, renovable y con la menor huella de carbono de todos los materiales de construcción.

El paraje natural de la desembocadura del río Guadalhorce es un espacio natural protegido al suroeste de la ciudad de Málaga, donde el río Guadalhorce se bifurca en dos brazos formando un delta aluvial en el que se encuentran unas pequeñas lagunas artificiales de extracción de áridos. Este extraordinario paisaje contiene una rica y variada fauna de aves, reptiles y anfibios.

El proyecto nace, en consecuencia, de la necesidad de encontrar un corredor peatonal y ciclista que permita a la

población malagueña atravesar este imponente paraje natural, tanto para desplazarse de un lugar a otro, como para disfrutar de sus vistas y naturaleza.

Elección de la ubicación

En una primera fase del estudio, dentro del Proyecto Básico, se propone la ubicación de la pasarela en una zona más cercana a la desembocadura del río. Finalmente, se decide trasladar el emplazamiento unos metros río arriba con el fin de ubicar lo más lejos posible la pasarela del paraje natural protegido, sin invadir la servidumbre de la carretera, aguas arriba.

El levantamiento topográfico realizado durante las primeras fases permitió la construcción de un modelo tridimensional del terreno sobre el cual colocar la pasarela con total precisión. Aquí fue importante concretar la localización de los sucesivos apoyos que la pasarela tendría, buscando minimizar el impacto en el medio natural.



Condicionantes técnicos

El análisis exacto del entorno requirió un estudio topográfico exhaustivo sobre el cual se establecería un control riguroso del terreno, accidentes, caminos existentes y, sobre todo, del lecho del río y la orilla del mismo. Algunos

RUTAS DIVULGACIÓN

de los condicionantes que más influyeron en la estructura fueron:

- Hidrológicos (Inundabilidad): El modelo tridimensional permitió simular la inundación del terreno desde el nivel habitual hasta el nivel máximo para un período de retorno de 500 años.
- Meteorológicos (Viento): La situación de la pasarela, en la cuenca del río Guadalhorce y en las proximidades de su desembocadura generó incertidumbre acerca de la acción del viento que inicialmente no se contemplaba como un factor fundamental. Pero es bien sabido que en puentes con grandes luces, reducido peso propio y altas flexibilidades, el estudio de la aerodinámica y la aeroelasticidad es de notable importancia.
- Ambiental (Salinidad): La proximidad del mar, especialmente después de comprobar que los vientos predominantes suelen seguir el lecho del río en ambas direcciones, hizo que fuese previsible un entorno salino, lo que aumentaba considerablemente el riesgo de corrosión en los componentes metálicos de la estructura.

Diseño estructural

Teniendo en cuenta los antecedentes constructivos existentes en cuanto a pasarelas de madera, la tipología en arco estructural constituyó la solución más inmediata y adecuada para las características resistentes del material a emplear, la madera laminada encolada (MLE), permitiendo un alto rango de luces económicamente efectivas entre 30 y 70 metros. Con lo cual, esto definió el número mínimo de apoyos necesarios.

Como ya se mencionó, la pasarela tiene una longitud total de 273 metros lineales y un ancho de paso útil de 3 metros. Está formada por siete tramos de configuración simétrica de luz creciente, siendo la luz del tramo central, el que salva la rama del río Guadalhorce de 69,66 metros, el mayor, seguido de 55 metros para los vanos contiguos, y de 31 metros y 15 metros respectivamente en los vanos sucesivos.

La estructura multi-arco funciona en conjunto, por lo que respetar la geometría de todos los elementos durante su construcción se convirtió en un hecho de vital importancia por el simple hecho de lograr el equilibrio estático de la pasarela.

La geometría inicial propuesta contemplaba el inicio de los arcos prácticamente a nivel del suelo. Después de



realizar el estudio hidrológico, se descubrió que durante el período de retorno de 500 años, una buena parte de la estructura permanecería sumergida. Por tanto, la superestructura debía quedar por encima de la línea de la lámina de agua para ese período de retorno (Q500), exactamente a 7,1 metros sobre el nivel del mar. Este cambio de la altura implicó una reducción de la curvatura de los arcos.

Prefabricación y eficiencia constructiva

Toda la pasarela ha sido prefabricada en taller, pudiendo tener un alto control de la calidad. Los módulos, que fueron transportados ya pre-ensamblados para su montaje en obra, han sido diseñados teniendo en cuenta las limitaciones de transporte, acceso y montaje en obra.

Esta ventaja constructiva logró facilitar las labores en obra, minimizando los problemas, y logrando la máxima reducción del impacto de la obra en el medio natural donde se ubica.



Material y durabilidad

La madera es uno de los materiales más eficientes estructuralmente. Su ratio resistencia/peso propio es 1,2 veces mayor que el del acero, y 5 veces mayor que el del hormigón.

Los elementos estructurales principales y secundarios se han resuelto con madera de *Pinus sylvestris* tratada en profundidad en autoclave con sales hidrosolubles para Clase de Uso 4 (requisito de durabilidad marcado por del el Eurocódigo 5: Proyectos de estructuras de madera.

La vida útil de los puentes indica el tiempo durante el cual la madera tratada seguirá cumpliendo con sus funciones. No hay diferencia en durabilidad con respecto al hormigón o al acero, ya que este requisito es de obligado cumplimiento para este tipo de infraestructuras y viene marcado por la normativa general, en este caso la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11) o por el Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras, independiente del material utilizado.

Integración medioambiental

La madera aporta un indudable valor estético, su apariencia y calidez no pueden ser imitadas por ningún otro material. Las formas orgánicas de la pasarela acentúan ese valor, integrándose perfectamente en la zona. La madera ofrece una alternativa verdaderamente sostenible al acero y al hormigón, que son materiales fantásticos, pero tienen un alto coste energético y una elevada huella de carbono (en promedio, 230 kilogramos de CO₂ más por tonelada que la madera).

La madera es un material natural, renovable y directamente disponible en la naturaleza. De la misma manera que es previsible un cambio de combustibles fósiles a fuentes de energía renovables, el cambio de materiales de construcción basados en combustibles fósiles a materiales sostenibles también será inevitable en el futuro.

Mantenimiento

Las afecciones y deterioro de un puente durante su vida útil no se pueden evitar, pero un sistema de mantenimiento e inspección mediante revisiones anuales y una inspección más detallada cada cinco años, permite detectar posibles daños en un estadio donde la reparación resulte sencilla y económica.

Durante las inspecciones se deben tener en cuenta los aspectos específicos de la madera como el contenido de humedad, hinchazón de elementos, deterioro de la superficie, astillas, grietas, etc.

Si se ha realizado un diseño correcto y se cumplen las revisiones periódicas programadas, no será necesario más que un mantenimiento estándar de limpieza y repintado con lasur protector.



Otros grandes puentes de madera



Puente en Amorebieta sobre la A-8 . LUZ de 60M.



Puentes en el Duero. Puente en Peñafiel. Más de 100 m.



Puente en Cabezón de la Sal. LUZ de 60M.



Puentes en el Duero. Puente en Pesquera. Más de 100 m.



Puente en Velilla del Río Carrión. LUZ de 65M.



Puentes en Barbate 36 metros-

“EL SABER NUNCA HA ESTADO TAN CERCA”



Descubre más en

www.atc-piarc.com

Los túneles y la mediación



Luis Palencia Garrido-Lestache

Ingeniero de caminos, canales y puertos.

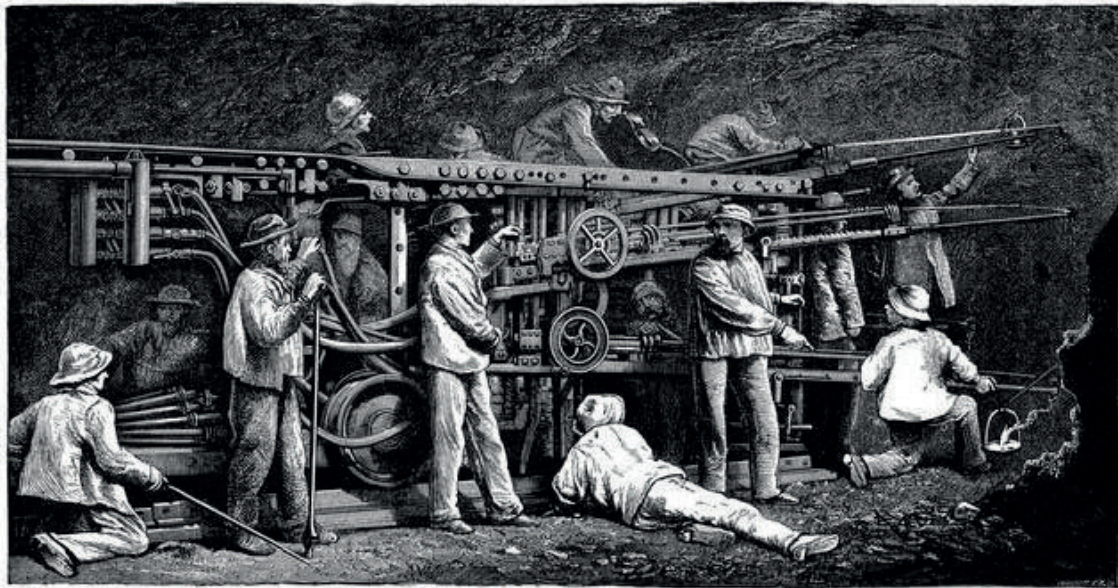
Mediador

El escrito que se presenta trata de mostrar las similitudes que se dan en un túnel y lo que ocurre en esa actividad cada vez más necesaria y útil como es la mediación. El autor ha dedicado una larga vida a las carreteras, y más recientemente se ha entregado con igual entusiasmo a la resolución de conflictos por la mediación.

Como enamorado de ambas materias va a tratar de demostrar que hay una gran similitud entre la mediación y los túneles de carretera y ferroviarios.

Definición de conceptos

- **Túneles (A):** Paso o camino subterráneo abierto artificialmente mediante medios manuales y/o mecánicos con el fin de establecer una vía de comunicación a través de una montaña, o por debajo de un río u otro obstáculo.
- **Mediación (B):** Es un proceso confidencial, voluntario y flexible de resolución pacífica de conflictos, en el que dos partes enfrentadas recurren voluntariamente a una tercera persona imparcial, (el mediador), para llegar a un acuerdo satisfactorio para ambas partes.



Similitudes y semejanzas

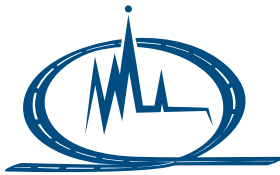
1.
 - A) Cuando se entra en un túnel todo se vuelve sombrío y tenebroso.
 - B) Cuando se tiene un conflicto del tipo que sea, todo es triste y lúgubre.

2.
 - A) Cuando se avanza por el túnel, se empieza a ver poco a poco la claridad.
 - B) Cuando se avanza dialogando en la mediación empieza a verse el día y no la noche.

3.
 - A) El problema más importante en los túneles es el incendio, por los humos y gases, que hay que apagar rápidamente.
 - B) En mediación se originan incendios por diversos motivos, durante el proceso de dialogo, que hay que sofocar rápidamente para evitar males mayores.

4.
 - A) El túnel une dos puntos, a través de una orografía accidentada.
 - B) En mediación se atraviesan grandes montañas y con la ayuda del mediador, se consigue el destino y la solución deseada.

5.
 - A) Cuando se sale del túnel en coche o en tren, se ve la luz y la claridad
 - B) Al final del proceso de mediación, hay mayor iluminación y luminosidad. ❖



XXVIITH WORLD
ROAD CONGRESS
PRAGUE 2023



750

COMPENDIOS

3 000 m²

DE EXHIBICIÓN

35+

PABELLONES NACIONALES

500+

ESTUDIANTES INVITADOS

600+

DELEGADOS CHECOS
Y ESLOVACOS

5

DÍAS DE PROGRAMA TÉCNICO
EN 5 DÍAS DE SESIONES
PARALELAS

4 000+

DELEGADOS

300+

COMPAÑÍAS

15+

VISITAS TÉCNICAS



NOS vemos en Praga !

XXVII Congreso Mundial de la Carretera de PIARC

“Juntos de nuevo en la carretera”

Praga, 2-6 de octubre de 2023

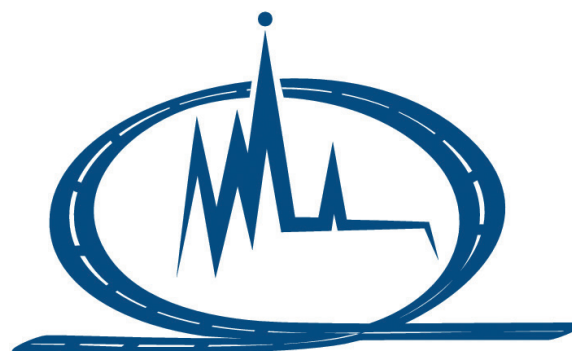
Desde su creación, PIARC ha tomado la iniciativa de reunir a la comunidad mundial de la carretera en sus congresos para compartir conocimientos y experiencias y estrechar lazos entre su variado grupo de miembros. Aunque el Plan Estratégico dirige y orienta las actividades de PIARC durante un ciclo determinado, su principal objetivo de la cooperación internacional y la transferencia de tecnología se ha mantenido siempre.

Durante este ciclo, el Plan Estratégico ha comprendido, entre otros, cuatro temas, en concreto:

- Administración de carreteras;
- Movilidad;
- Resiliencia de la infraestructura y ARROW- RIGHT
- Seguridad y sostenibilidad.

El programa del Congreso incluye la presentación de los resultados del trabajo realizado por los 24 comités y grupos de trabajo de PIARC, así como varias sesiones y talleres especializados sobre temas de interés actuales y en el futuro y una gran exposición en la que las administraciones de carreteras, proveedores de equipos y servicios, consultores y organizaciones relacionadas con la carretera estarán presentes para compartir sus opiniones sobre la situación y el futuro de las carreteras y el del transporte por carretera.

Están invitados expertos del mundo entero, investigadores y profesionales, a presentar artículos en respuesta a nuestra convocatoria y presentar sus puntos de vista sobre las mejores prácticas en el sector de la carretera sobre los aspectos sociales, técnicos y económicos.



**XXVIIth WORLD
ROAD CONGRESS
PRAGUE 2023**

El Congreso Mundial de la Carretera verá el retorno a los eventos presenciales y a nosotros, los profesionales del sector de la carretera nos proporcionará una oportunidad única de debatir la información sobre las tendencias actuales y desafíos en las carreteras y los transportistas de carreteras del mundo entero.

El evento presentará las tendencias y tecnologías más modernas del transporte en carretera y contará con la participación de 3 000 a 5 000 delegados, principalmente del extranjero. Durante la reunión de Praga, a su vez, tendrá lugar la llamada reunión ministerial de todos países miembros de la Asociación, es decir, casi 130 países y compartirán sus observaciones y desafíos en la modernización de su estructura nacional de carreteras.

www.wrc2023prague.org/es/



El negocio de asfaltos de Cepsa ha realizado avances destacables en el desarrollo de nuevos materiales que contribuirán a la sostenibilidad de las carreteras del futuro y a que la conservación de las infraestructuras tenga un menor impacto ambiental.

Cepsa, como empresa energética global, diversificada, presente en los cinco continentes y líder en el sector, confirma su compromiso con la sostenibilidad mediante el desarrollo de betunes para la pavimentación, eficientes, duraderos y que, además, se sustentan sobre principios de economía circular. El carácter innovador de los trabajos lleva-

dos a cabo en el Departamento Técnico de Asfaltos permite a la compañía ofrecer una gran variedad de betunes y derivados de última generación.

Además, Cepsa dispone también de lubricantes más eficientes que reducen el consumo de combustibles y las emisiones de CO₂, así como de soluciones energéticas para la nueva movilidad en su red de estaciones de servicio (eléctrica, GNV, hidrógeno...). A través de su estrategia para impulsar un futuro energético más sostenible, Cepsa busca nuevas respuestas a las necesidades actuales y futuras de la sociedad.

Ligantes y sostenibilidad

Siguiendo este espíritu innovador, los últimos trabajos de investigación del Departamento Técnico de Asfaltos, han dado como resultado una completa gama de soluciones, que contribuyen a reducir el impacto ambiental de las obras de pavimentación.

Por un lado, se ha desarrollado una gama completa de betunes BT (Baja Temperatura) que permite reducir la temperatura de fabricación de las mezclas asfálticas, contribuyendo a la reducción de emisiones durante su fabricación y extendido. La gama de ligantes BT de CEPESA comprende todos los rangos de betunes utilizados en las carreteras españolas.

Por otro lado, la gama de ligantes Flexodur aprovechan el polvo de neumático al final de su vida útil para mejorar las prestaciones, mientras contribuyen a la reducción de residuos. Estos ligantes están también disponibles en su versión BT, que permite además reducir las temperaturas de empleo y, por tanto, las emisiones.

Para mezclas recicladas, tanto en caliente como semicalientes, se ha diseñado la gama Regener, que permite aprovechar al máximo las propiedades del fresado recuperado de carreteras deterioradas, mediante su reutilización.

Innovación

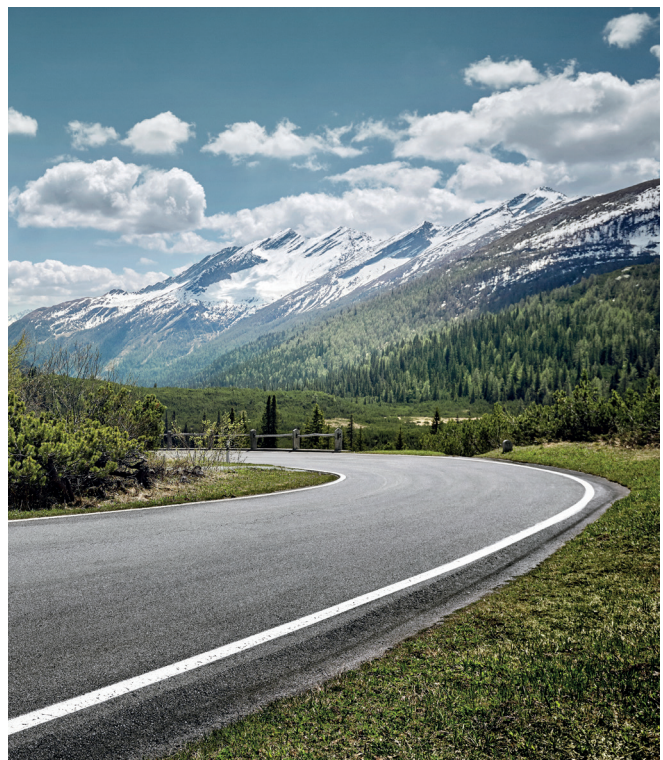
Los nuevos ligantes desarrollados por la compañía energética Cepsa no solo son más sostenibles, sino que también presentan una mayor durabilidad y mejor manejabilidad en la construcción. Estos betunes cumplen los requisitos para su empleo en la fabricación de los asfaltos sostenibles que configurarán las carreteras del futuro. Muchos de ellos ya se han utilizado, para la fabricación de mezclas asfálticas que, con muy buenos resultados, se han aplicado en algunas carreteras en España.

No es la primera vez que Cepsa trabaja en proyectos relacionados con el desarrollo de materiales sostenibles. Según datos de la propia compañía, el proyecto Ecoasfaltos, desarrollado en colaboración con la Universidad de Granada y financiado por la Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA), dio origen al diseño de mezclas asfálticas de baja temperatura mediante el empleo de residuos sólidos de difícil gestión ambiental proceden-

tes de los Energy Parks y plantas químicas de la compañía. Los objetivos del proyecto ya reflejaban el compromiso de Cepsa con la innovación como vía para implementar la economía circular en sus procesos y productos.

Betunes más resilientes

Los expertos del Departamento Técnico de Asfaltos de Cepsa han conseguido resultados prometedores para prolongar la vida de los pavimentos mediante el desarrollo de betunes más resistentes al envejecimiento que pueden emplearse en la fabricación de mezclas asfálticas para carreteras, puertos y aeropuertos. Los principales logros alcanzados a través de esta labor investigadora de Cepsa se resumen en nuevos materiales más eficientes y sostenibles, con mejor adhesividad árido-ligante, que permiten reducir las temperaturas de fabricación de las mezclas bituminosas, betunes de altas prestaciones mecánicas, e incluso ligantes inteligentes capaces de auto-repararse mediante técnicas de inducción magnética por modificación a escala micro-nano.



PRÓXIMOS EVENTOS ATC

La Asociación Técnica de Carreteras tiene previsto los siguientes eventos:

- **Jornada Técnica Mezclas Sostenibles**
Madrid, 17 de octubre de 2023
- **Jornada Técnica sobre la Seguridad de los ciclistas**
Valencia 15 de noviembre de 2023
- **Jornada Técnica sobre Señalización**
Madrid, 27 de noviembre de 2023

¿Te gustaría que una foto tuya fuera portada de la revista RUTAS?



Si quieres que una imagen o fotografía aparezca como portada de la revista RUTAS, envía tu imagen junto a su título y autor a:

info@atc-piarc.com

Composición de la Junta Directiva de la ATC

PRESIDENTE:	- D. Álvaro Navareño Rojo
CO-PRESIDENTES DE HONOR:	- D. Juan Pedro Fernández Palomino - D. Pere Navarro Olivella
VICEPRESIDENTES:	- D.ª Paula Pérez López - D.ª M.ª del Carmen Picón Cabrera - D. Jorge Enrique Lucas Herranz - D. Pedro Gómez González
TESORERO:	- D. Pablo Sáez Villar
SECRETARIO:	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
DIRECTOR:	- D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
VOCALES:	



- Designados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana:
 - D. Miguel Ángel Bermúdez Odrizola
 - D. Javier de las Heras Molina
 - D. Antonio Muruais Rodríguez
 - D. Álvaro Navareño Rojo
 - D.ª Paula Pérez López
- En representación de los órganos de dirección relacionados con el tráfico:
 - D.ª Ana Isabel Blanco Bergareche
 - D.ª Sonia Díaz de Corcuera Ruiz de Oña
- En representación de los órganos de dirección de las Comunidades Autónomas:
 - D. Felipe Cobo Sánchez
 - D. Ramón Colom Gorgues
 - D. David Merino Rueda
 - D. Jesús Félix Puerta García
- En representación de los órganos responsables de vialidad de los ayuntamientos
 - D.ª Margarita Torres Rodríguez
- Designados por los órganos de la Administración General del Estado con competencia en I+D+i:
 - D.ª Ana de Diego Villalón
 - D.ª Laura Parra Ruiz
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
 - D. Rodrigo Miró Recasens
 - D. Manuel Romana García
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Antonio Belmonte Sánchez
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
- Representantes de las empresas de consultoría:
 - D. Alfonso Alba Ripoll
 - D. José Luis Mangas Panero
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Cesar Bartolomé Muñoz
 - D. Sebastián de la Rica Castedo
 - D. Javier Monje Norte
 - D. Juan José Potti Cuervo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. Camilo José Alcalá Sánchez
 - D. Jorge Enrique Lucas Herranz
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
 -
- Representantes de los Socios Individuales de la Asociación:
 - D. Alfredo García García
 - D.ª Anna París Madrona
 - D. Rafael Ángel Pérez Arenas
 - D. Enrique Soler Salcedo
- Entre los Socios de Honor:
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
 - D. Pedro Gómez González
 - D.ª M.ª del Carmen Picón Cabrera
- Presidente saliente:
 - D.ª M.ª del Rosario Cornejo Arribas

Comités Técnicos de la ATC

COMITÉ DE VIALIDAD INVERNAL

- Presidente	D. Luis Azcue Rodríguez
- Secretaria	D.ª Lola García Arévalo

COMITÉ DE FINANCIACIÓN

- Presidente	D. José Manuel Blanco Segarra
- Secretario	D. Adolfo Güell Cancela

PLANIFICACIÓN, DISEÑO Y TRÁFICO

- Presidente	D. Fernando Pedraza Majarrez
- Secretario	D. Javier Sáinz de los Terreros Goñi

TÚNELES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Rafael López Guarga
- Vicepresidente	D. Ignacio del Rey Llorente
- Secretario	D. Rafael Sánchez Tostón

CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidenta	D.ª Paula Pérez López
- Secretario	D. Pablo Sáez Villar

FIRMES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Francisco Javier Payán de Tejada González
- Secretario	D. Francisco José Lucas Ochoa

DOTACIONES VIALES

- Presidente	D. Carlos Azparren Calvo
- Secretario	D. Emiliano Moreno López

PUENTES DE CARRETERAS

- Presidente	D. Álvaro Navareño Rojo
- Secretario	D. Gonzalo Arias Hofman

GEOTECNIA VIAL

- Presidente	D. Álvaro Parrilla Alcaide
- Secretario	D. Manuel Rodríguez Sánchez

SEGURIDAD VIAL

- Presidente	D. Roberto Llamas Rubio
- Secretaria	D.ª Ana Arranz Cuenca

CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE

- Presidente	D. Antonio Sánchez Trujillano
- Secretaria	D.ª Laura Crespo García

CARRETERAS DE BAJA INTENSIDAD DE TRÁFICO

- Presidente	D. Andrés Costa Hernández
- Secretaria	D.ª María del Mar Colas Victoria

Socios de la ATC

Los Socios de la Asociación Técnica de Carreteras son:

- **Socios de número:**
 - Socios de Honor
 - Socios de Mérito
 - Socios Protectores
- **Otros Socios:**
 - Socios Colectivos
 - Socios Individuales
 - Socios Senior
 - Socios Júnior

Socios de Honor

2005 - D. ENRIQUE BALAGUER CAMPHUIS (†)
 2005 - D. ÁNGEL LACLETA MUÑOZ (†)
 2008 - D. JOSÉ LUIS ELVIRA MUÑOZ
 2008 - D. FRANCISCO CRIADO BALLESTEROS
 2011 - D. SANDRO ROCCI BOCCALERI (†)
 2011 - D. JOSÉ MARÍA MORERA BOSCH
 2012 - D. LUIS ALBERTO SOLÍS VILLA
 2012 - D. JORDI FOLLIA I ALSINA (†)
 2012 - D. PEDRO D. GÓMEZ GONZÁLEZ
 2015 - D. ROBERTO ALBEROLA GARCÍA
 2019 - D. PABLO SÁEZ VILLAR
 2020 - D.ª M.ª DEL CARMEN PICÓN CABRERA

2013 - D. RAFAEL LÓPEZ GUARGA
 2013 - D. ÁLVARO NAVAREÑO ROJO
 2013 - D.ª MERCEDES AVIÑO BOLINCHES
 2014 - D. FEDERICO FERNANDEZ ALONSO
 2014 - D. JUSTO BORRAJO SEBASTIÁN
 2014 - D. JESÚS RUBIO ALFÉREZ
 2014 - D. JESÚS SANTAMARÍA ARIAS
 2015 - D. ENRIQUE DAPENA GARCÍA
 2015 - D. ROBERTO LLAMAS RUBIO
 2015 - D. FÉLIX EDMUNDO PÉREZ JIMÉNEZ
 2017 - D. VICENTE VILANOVA MARTÍNEZ-FALERO
 2017 - D. ÁNGEL GARCÍA GARAY
 2018 - D. LUIS AZCUE RODRÍGUEZ
 2018 - D. FERNANDO PEDRAZO MAJÁRREZ
 2019 - D. ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLIÍVAR ÁLVAREZ
 2019 - D. ALFREDO GARCÍA GARCÍA
 2020 - D. CARLOS CASAS NAGORE
 2020 - D. ANDRÉS COSTA HERNANDEZ
 2021 - D. ANTONIO SÁNCHEZ TRUJILLANO
 2021 - D. JESÚS DÍAZ MINGUELA
 2022 - D. JORGE ENRIQUE LUCAS HERRANZ
 2022 - D. ÁLVARO PARRILLA ALCAIDE

Socios de Mérito

2010 - D. FRANCISCO ACHUTEGUI VIADA
 2010 - D. RAMÓN DEL CUVILLO JIMÉNEZ (†)
 2011 - D. CARLOS OTEO MAZO (†)
 2011 - D. ADOLFO GÜELL CANCELA
 2011 - D. ANTONIO MEDINA GIL
 2012 - D. CARLOS DELGADO ALONSO-MARTIRENA
 2012 - D. ALBERTO BARDESI ORUE-ECHEVARRIA

Socios Protectores y Socios Colectivos

Administración General del Estado

- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. MITMA
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. MINISTERIO DEL INTERIOR
- SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. MITMA

Comunidades Autónomas

- COMUNIDAD DE MADRID
- GENERALITAT DE CATALUNYA
- GENERALITAT VALENCIANA, CONSELLERIA DE VIVIENDA, OBRAS PÚBLICAS Y VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO
- GOBIERNO DE ARAGÓN, DEPARTAMENTO DE VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO, MOVILIDAD Y VIVIENDA
- GOBIERNO DE CANARIAS
- GOBIERNO DE CANTABRIA
- GOBIERNO DE NAVARRA. DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ECONÓMICO
- GOBIERNO VASCO
- GOBIERNO VASCO. DIRECCIÓN DE TRÁFICO
- JUNTA DE ANDALUCÍA
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
- JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA - LA MANCHA. CONSEJERÍA DE FOMENTO
- JUNTA DE EXTREMADURA. CONSEJERÍA DE MOVILIDAD, TRANSPORTE Y VIVIENDA. DIRECCIÓN GENERAL DE MOVILIDAD E INFRAESTRUCTURAS VIARIAS.
- PRINCIPADO DE ASTURIAS
- XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Ayuntamientos

- AYUNTAMIENTO DE BARCELONA
- MADRID CALLE 30
- AREA METROPOLITANA DE BARCELONA

Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE ÁLAVA
- EXCMA. DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE BARCELONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE GIRONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN DE TARRAGONA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ÁVILA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE HUESCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SALAMANCA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALENCIA
- EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE VALLADOLID
- CABILDO INSULAR DE TENERIFE
- CONSELL DE MALLORCA. DIRECCIÓN INSULAR DE CARRETERAS

Colegios Profesionales y Centros de investigación y formación

- INSTITUTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
- CENTRO DE ESTUDIOS DEL TRANSPORTE, CEDEX
- ESCUELA DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS DE BARCELONA. CÁTEDRA DE CAMINOS
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL

Asociaciones

- AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO DE ESPAÑA, OFICEMEN
- ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, ACEX
- ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE SEÑALES METÁLICAS DE TRÁFICO, AFASEMETRA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, ASEFMA
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ÁMBITO NACIONAL, SEOPAN
- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB
- FORO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL TRANSPORTE, ITS ESPAÑA
- FUNDACIÓN REAL AUTOMÓVIL CLUB DE CATALUÑA, RACC

Sociedades Concesionarias

- ABERTIS AUTOPISTAS ESPAÑA, S.A.
- ACCIONA CONCESIONES, S.L.
- AUCALSA, AUTOPISTA CONCESIONARIA ASTUR - LEONESA, S.A.
- AUDENASA, AUTOPISTAS DE NAVARRA, S.A.
- AUTOPISTAS DEL ATLANTICO, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S.A.
- CEDINSA CONCESIONARIA, S.A.
- CONCESIONARIA VIAL ANDINA, S.A.S. (COVIANDINA)
- SACYR CONCESIONES, S.L.
- TÚNEL D'ENVALIRA, S.A.

Empresas

- 3M ESPAÑA, S.L.
- A. BIANCHINI INGENIERO, S.A.
- ABALDO COMPAÑIA GENERAL DE CONSTRUCCIÓN, S.A.
- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- ACEINSA MOVILIDAD, S.A.
- AECOM INOCSA, S.L.U.
- A.E.R.C.O., S. A. SUCURSAL EN ESPAÑA
- AGUAS Y ESTRUCTURAS, S.A. (AYESA)
- ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN, S.A.
- ALAUDA INGENIERÍA, S.A.
- ALUMBRADOS VIARIOS, S. A.
- ALVAC, S.A.
- AMIANTIT ESPAÑA S.A.U.
- ANCADE
- ANTER
- API MOVILIDAD, S.A.
- APPLUS NORCONTROL S.L.
- AQUATERRA SERVICIOS INFRAESTRUCTURAS S.L.
- ARCS ESTUDIOS Y SERVICIOS TÉCNICOS, S.L.
- ASFALTOS Y PAVIMENTOS, S.A.
- ASIMOB S.L.
- AUDECA, S.L.U.
- BARNICES VALENTINE, S.A.U.
- BECSA, S.A.U.
- BENITO ARNÓ E HIJOS, S.A.U.
- BETAZUL, S.A.
- CAMPEZO OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L.
- CEPESA COMERCIAL PETROLEO, S.A.
- CHM OBRAS E INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- CINTRA SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- COMSA INSTALACIONES Y SISTEMAS INDUSTRIALES, S.L.U.
- CONSERVACIÓN INTEGRAL VIARIA, S.L. (CONSVIA)
- CONSTRUCCIONES MAYGAR, S.L.
- CONSTRUCCIONES SARRIÓN, S.L.
- CORSAN - CORVIAM, CONSTRUCCIÓN, S.A.
- CPS INFRAESTRUCTURAS MOVILIDAD Y MEDIOAMBIENTE, S.L.
- CTS BITUMEN GMBH
- CYOPSA - SISOCIA, S.A.
- DILUS, INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS, S.A.
- DINÁMICAS DE SEGURIDAD, S.L.
- DRACE GEOCISA, S.A.
- DRAGADOS, S.A.
- DRIZORO, S.A.U.
- EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS GESTIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- ELSAMEX GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, S.L.
- EMPRESA DE MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE LA M-30, S.A. (EMESA)
- ESTEYCO, S.A.
- ETRA ELECTRONIC TRAFIC, S.A.
- ESTRUCTURAS TÉCNICAS Y SERVICIOS DE REHABILITACIÓN, S.L. (ETYSER)
- FCC CONSTRUCCIÓN, S.A.
- FERROSER INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A.
- FIXALIA ELECTRONIC SOLUTIONS, S.L.
- FREYSSINET, S.A.
- GECOCSA, GENERAL DE CONSTRUCCIONES CIVILES, S.A.
- GEOCONTROL, S.A.
- GIRDER INGENIEROS, S.L.P.
- GIVASA S.A.
- GPYO INGENIERÍA Y URBANISMO, S.L.
- GRUPO ALDESA S.A.
- HIDRODEMOLICIÓN, S.A.
- HUESKER GEOSINTÉTICOS, S.A.
- IDEAM, S.A.
- IDOM CONSULTING, ENGINEERING, ARCHITECTURE, S.A.U.
- IKUSI, S.L.U.
- IMPLASER 99, S.L.L.
- INCOPE CONSULTORES, S.L.
- INDRA SISTEMAS, S.A.
- INECO, INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A.
- INES INGENIEROS CONSULTORES, S.L.
- INGENIERÍA Y ECONOMÍA DEL TRANSPORTE, S.A. (INECO)
- INGENIERÍA ESPECIALIZADA OBRA CIVIL E INDUSTRIA S.A.
- INGENIERIC S.L.
- INNOVIA COPTALIA, S.A.U.
- INVENTARIOS Y PROYECTOS DE SEÑALIZACIÓN VIAL, S.L.
- INVESTIGACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD, S.A.U.
- J. A. ROMERO POLO S. A.
- KAO CORPORATION, S.A.
- KAPSCH TRAFFICOM TRANSPORTATION S.A.U.
- LANTANIA, S.A.U.
- LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S.A.
- LRA INFRAESTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- MASTER BUILDERS SOLUTIONS ESPAÑA, S.L.U.
- METALESA SEGURIDAD VIAL, S.L.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- OPTIMASOIL S.L.
- ORION REPARACION ESTRUCTURAL, S.L.
- ORYX OBRAS Y SERVICIOS, S.L.
- PADECASA OBRAS Y SERVICIOS, S.A.
- PAVASAL EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- PAVIMENTOS BARCELONA, S.A. (PABASA)
- PINTURAS HEMPEL, S.A.U.
- PROBISA VÍAS Y OBRAS, S.L.U.
- PROES CONSULTORES, S.A.
- PROINTEC, S.A.
- PUENTES Y CALZADAS INFRAESTRUCTURAS, S.L.U.
- RAUROSZM.COM, S.L.
- REPSOL LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES, S.A.
- RETINEO, S.L.
- SACYR CONSERVACIÓN, S.A.
- SACYR CONSTRUCCION, S.A.
- S.A. DE GESTIÓN DE SERVICIOS Y CONSERVACIÓN (GESECO)
- S.A. DE OBRAS Y SERVICIOS (COPASA)
- SENER MOBILITY, S.A.U.
- SEÑALIZACIONES VILLAR, S.A.
- SERBITZU ELKARTEA, S.L.
- SISTEMAS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S.A.
- SOCIEDAD IBÉRICA DE CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE)
- SODECA, S. L. U.
- SGS TECNOS, S.A.
- SORIGUE, S.A.
- S&P-KRUGER
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TECLIVEN, S.L.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPSA)
- TECNIVIAL, S.A.
- TECNOLOGÍA DE FIRMES, S.A.
- TEKIA INGENIEROS, S.A.
- TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.
- TPF GETINSA EUROESTUDIOS, S.L.
- TRABAJOS BITUMINOSOS, S. L.
- ULMA C Y E, SOCIEDAD COOPERATIVA
- VISEVER, S.L.
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales, Senior y Junior

Personas físicas (85) técnicos especialistas de las administraciones públicas; del ámbito universitario; de empresas de ingeniería, construcción, conservación, de suministros y de servicios; de centros de investigación; usuarios de la carretera y de otros campos relacionados con la carretera. Todos ellos actuando en su propio nombre y derecho.

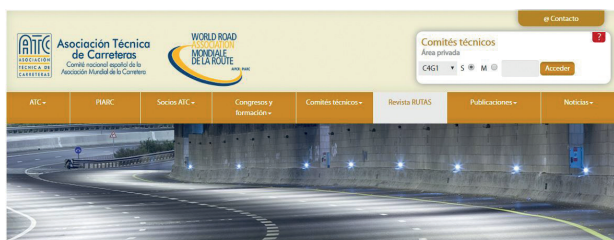
RUTAS

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS



Si quiere suscribirse por un año a la revista **RUTAS**, en su edición impresa, cuyo importe es de 60,10 € para socios de la ATC y 66,11 € para no socios (+ I.V.A. respectivamente) rellene sus datos en el formulario de abajo y envíelo por correo postal a la sede de la Asociación:

C/ Monte Esquinza, 24, 4.º Dcha. 28010 Madrid.



Revista RUTAS / Revista RUTAS



www.atc-piarc.com/rutas

Si quiere anunciarse en **RUTAS** póngase en contacto con nosotros:
Tel.: 91 308 23 18 info@atc-piarc.com www.atc-piarc.com

La revista RUTAS ofrece la posibilidad de publicar aquellos trabajos o artículos del sector de las carreteras que resulten de interés.

Los artículos deberán enviarse por correo electrónico a la dirección info@atc-piarc.org

El Comité Editorial de la revista RUTAS se reserva el derecho de seleccionar dichos artículos y de decidir cuáles se publican en cada número.

PORTADA RUTAS:

Si quiere que una imagen o fotografía aparezca como portada de la revista RUTAS, consultar en info@atc-piarc.com



Asfaltos Repsol, abriendo el camino a la eficiencia y a la innovación

En Repsol innovamos cada día para adaptarnos a las nuevas necesidades en pavimentación. Por eso, ahora te ofrecemos **5 gamas de asfaltos de alto nivel** para crear carreteras y pavimentos más seguros, eficientes y sostenibles: **PAVE, PERFORM, COLOR, ADVANCE e ISOLATE.**

- **Altas prestaciones:** asfaltos de calidad y garantía certificada con nuestra asistencia técnica y desarrollo.
- **Más eficientes:** soluciones eficientes y comprometidas con el medioambiente desarrolladas en el Repsol Technology Lab.
- **A tu medida:** elige el que mejor se adapte a ti entre más de 120 referencias, con diversidad de formatos.



REPSOL

Inventemos el futuro



Repsol Compromiso
Cero Emisiones Netas
2050



Descubre más
aquí



chm.es



75 años
acompañándote donde quieres estar