

RUTAS TÉCNICA

Orientaciones para la corrección de deficiencias de funcionamiento en glorietas en servicio

Experiencia Espuma Betun

Evaluación Ambiental de Estudios Informativos de Autovías (2/2)

Inundaciones en la N-651 a su paso por A Ribeira en el casco urbano de Betanzos. Estudio y subsanación

CULTURA Y CARRETERA

El arte en la ingeniería.
El caso particular de la carretera

Tribuna Abierta



- 03 La movilidad es un sistema holístico.
Por ello ninguna parte puede determinar al todo.**

Ignacio García-Arango

Rutas Técnica

- 05 Orientaciones para la corrección de deficiencias de funcionamiento en glorietas en servicio**

Guidance for the correction of functional deficiencies at operational roundabouts

Comité Técnico de Seguridad Vial



- 18 Experiencia Espuma Betun**

Foamed Bitumen Experience

GT-7 (periodo 2018-2020) Mezclas Bituminosas con Espuma de Betun. Comité de Firmes

- 28 Evaluación Ambiental de Estudios Informativos de Autovías (2/2)**

Environmental Assessment of Informative Studies of Highways (2/2)

Norberto Díez González

- 39 Inundaciones en la N-651 a su paso por A Ribeira en el casco urbano de Betanzos. Estudio y subsanación**

Floods on the N-651 in its path by A Ribeira in the urban area of Betanzos. Study and correction

Alvaro Nogueira González y Eduardo Toba Blanco



PIARC

- 52 Uso de los Materiales Reciclados en los Pavimentos (Firmes)**

José del Cerro, Jesús Díaz y Curro Lucas

Cultura y Carretera

- 60 El arte en la ingeniería. El caso particular de la carretera**

Rafael López Guarga



Actividades del Sector

- 71 XVIII Premio Nacional ACEX a la Seguridad en Conservación**

ATC

- 72 Jornada Técnica Impermeabilización de Tableros de Puentes de Carretera**

- 74 Jornada Técnica Ventilación y Gestión de Túneles**

- 77 Próximos eventos ATC**

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



Edita:

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

Comité Editorial:

Presidenta:

M^a del Rosario Cornejo Arribas Presidenta 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, MITMÁ (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)
Fernando Varela Soto	Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid (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 Majarrez	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 191 ABRIL - JUNIO 2022

RUTAS
REVISTA DE LA ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS

Fotografía de portada:

Imagen de Tim Hill en Pixabay

La movilidad es un sistema holístico. Por ello ninguna parte puede determinar al todo.

Ignacio García-Arango

Presidente de la Fundación Foro Jovellanos

En estos tiempos de cambio de paradigma energético, aparecen conceptos tales como el de Nueva Movilidad, que no deben hacernos olvidar que la movilidad siempre fue la misma y que su fin es el relacionar a humanos, sea para progresar económicamente, sea para convivir. Eso ha sido siempre así, desde el andar o utilizar animales y medios de arrastre anteriores a la rueda, hasta los cohetes espaciales y los trenes de levitación magnética.

Por otra parte vivir mata y por eso el humano (tras prever y minimizar siempre los riesgos) debe elegir entre una vida estática y aislada que no deje entrar en ella a otros y un progreso que permita vivir mejor a más seres. Por ello lo novedoso son las ideas que lo permitan y no lo manido aunque se escriba con alfabeto informático.

La clasificación de las carreteras esencial para su gestión, debe recoger la complejidad del funcionamiento de un sistema de transportes reflejo de la vida y sus vueltas, sin subordinar el todo a uno de sus elementos. El desarrollo me-

todológico (la clasificación de las carreteras, como todo lo demás: jerarquización, encuestas, toma de datos, origen y destino, conectividad, tratamiento informativo... es conocidísimo) es conceptualmente igual sea redactado con papel y lápiz, sea con medios informáticos ya que las grandes verdades de la ingeniería son sencillas: otra cosa es que desarrollarlas tras considerar todos los elementos, factores e interrelaciones sea complicado.

Por otra parte todos sabemos que los ingenieros debemos resolver los problemas buscando las soluciones en la naturaleza y no en las formulas, en los fenómenos y no en el gabinete y que debemos asumir que, siendo esencial el análisis, la ingeniería es síntesis, sazónada con sentido común,

Y que además un profesional es un humano que vive en su Sociedad y que debe estar integrado en ella. Lo que le debe llevar a valorar más su buen juicio y su persistencia que sus cálculos, para ello debe tener una salud mental razonable, así como equipos intelectuales firmes y seguros, no complicados juguetes,

pues únicamente su equilibrio psíquico lo liberará de la formulitis, experimentalitis, credidulitis, manualitis y ordenadorcitis; para potenciar el sentido común que dios le dio. Si alcanza ese punto podrá hasta reconocer sus propios prejuicios y preconcepciones para confiar solo en los hechos.

En ese contexto ingenieril el concepto de sistema implica considerar los procesos teniendo en cuenta la globalidad, tras saber que las partes se relacionan con el todo, pero tras recordar que el equilibrio global entre las diversas escalas hace tan importante al detalle como al todo.

Por ello un asunto sujeto a tantas variables, tal como el de jerarquización de las vías, no se puede simplificar reduciéndolo a un solo factor aunque (con ser el valor del humano infinito) este sea tan importante como el de la seguridad, que tampoco deja de ser evaluable y relatable pues la vida humana es efímera (tanto se puede morir de un accidente por exceso de movilidad como por hambre por no producir debido a un exceso de in-

movilidad) y la de la especie humana pervive por lo que necesita los medios y la acción necesarias para ello: es decir que hay que hacer funcionar el sistema. Y como ya recordé que vivir mata, añado que hay que asumir un número (cuanto menos mejor) de muertes individuales para que la vida de la especie sea óptima:

Por eso la unilateralidad, sea la de la seguridad vial, sea la medioambiental, sea la grupal, sea la de creer que nuestra verdad es absoluta, es absurda y va contra esas leyes de la naturaleza.

Como recordareis no digo nada nuevo pues eso ya lo sostuvo, en el año 370 a.c. Platón cuando criticaba la unidimensionalidad para promocionar a los filósofos por su visión general:

Por eso tras decir que no se puede sustituir el todo por una parte, es decir la vida por un Frankenstein zombie, sobra todo, pero añadiré algo concreto:

- Desde siempre las vías amoldan sus características al tipo de uso y cuando se clasifican se utiliza él como medio básico de ordenación. Ello exige conocer a la Tierra y al Pueblo que ella quiere. Por eso no se pueden importar sin más matices, sistemas de otros países con características humanas, sociales, económicas, territoriales y urbanísticas, distintas a las de España.
- Por eso en España la funcionalidad se ha considerado siempre y por ello toda nuestra normativa habla ya de los distintos tipos de vías, así como de sus características y se trata de ello en todos los análisis de movilidad urbana; me estoy acordando, por ejemplo, a las súpermanzanas de Barcelona. Por eso ahora surge por doquier el concepto de jerarquización.

- Al tratar de funcionalidad hay que ligarla a la globalidad, lo que supone que no se puede reducir a la seguridad. Pues ello implica pasar por alto que las vías son para comunicarse y que el único criterio de diseño admisible es maximizar el beneficio social,

Por otra parte no se puede obviar que la seguridad cuesta y que el gasto ilimitado en seguridad puede producir más muertes. por ejemplo por falta de sanidad o, simplemente, como ya dije, por hambre.

Por tanto no se puede cesarizar la seguridad tras ignorar que las carreteras se deben construir y gestionar con seguridad, pero no por seguridad: además, en ese caso la seguridad infinita sería movilidad cero: todos carteros o siervos de la gleba.

El no ser unidimensionales es esencial pues el serlo destruye todos los criterios (fundamento del análisis multicriterio) de planificación territorial, medio ambiente, logística y viarios que llevamos aplicando desde que el mundo es.

- En España hay considerar las competencias autonómicas.

Sintétizo lo anterior

- En una clasificación de funcionalidad jamás se puede vampirizar el todo por la parte, aunque ésta sea tan esencial como la seguridad vial.
- Sería bueno que sobre la base de la razonable clasificación funcional que tenemos para las carreteras, la ampliásemos, sobre esos criterios comunes, para los aspectos de la nueva movilidad,
- Recuerdo que el adecuado diseño de las carreteras implica saber que ellas están integra-

das en un sistema multimodal que debe llegar a la última casa desde la más alejada isla de las antípodas.

- No hay que olvidar tampoco la perogrullada de que las vías se diseñan con las características e instalaciones adecuadas a su funcionalidad y que si estas varían se modifican

Término con, para mí, lo más importante que, como antes recordé, ya dijo hace 26 siglos Platón, de que nadie puede pretender que una rama del saber debe gobernarlo todo, todas deben estar embridadas por la Sociedad:

En consecuencia la globalidad la debe gestionar una organización global y no varias dispersas. A mi juicio en España ella tiene que ser el MITMA que debe integrar en la Misión Global y Colectiva todas las actividades logísticas, entre ellas la gestión y vigilancia del tráfico,

En otro plano la Administración General debe colaborar y coordinarse con las autonomías, por lo que sería buena una homogeneización de criterios entre todas ellas, pero eso depende de la estructura del Estado. ❖

Orientaciones para la corrección de deficiencias de funcionamiento en glorietas en servicio



Guidance for the correction of functional deficiencies at operational roundabouts

Comité Técnico de Seguridad Vial

Asociación Técnica de Carreteras

Redactado por:

Juan Luis Rubio Martín

Dr. ICCP

Jefe de Proyecto en Infraestructuras del Transporte (AYESA)

Rafael Jurado Piña

Dr. ICCP

Profesor titular de Universidad (UPM)

José María Pardillo Mayora

Dr. ICCP

Profesor titular de Universidad (UPM)

Redactor del prólogo:

Roberto Llamas Rubio

DGC- Presidente del Comité de Seguridad Vial

Las glorietas son una de las soluciones más extendidas en las últimas décadas para resolver las intersecciones a nivel en carreteras convencionales. Dicha disposición presenta ciertas ventajas respecto al funcionamiento de una intersección convencional si bien, en determinados casos, pueden presentar problemas de funcionamiento y seguridad que son susceptibles de mejora si se identifican y se corrigen las carencias de diseño que los originan. Y las correcciones o mejoras de funcionalidad y seguridad pueden llevarse a cabo con pequeñas modificaciones en su diseño que no suponen un coste elevado.

Estos aspectos se abordan en el presente artículo. Por un lado, se pasa revista a las bases generales en las que se fundamenta un adecuado diseño de las glorietas, a partir del análisis de las principales guías internacionales. También, se resumen las principales experiencias en los estudios sobre los efectos obtenidos con la corrección de las deficiencias de diseño de glorietas en servicio con problemas de funcionamiento. Y, por último, se estudian dos casos ilustrativos de glorietas en servicio en las carreteras españolas que presentan problemáticas habituales de capacidad y elevadas velocidades, proponiéndose medidas de bajo coste para mejorar esas disfuncionalidades.

In recent decades roundabouts have become one of the most widely adopted solutions for at-level junctions on conventional roads. While their configuration affords operational advantages with respect to conventional intersections, in certain cases roundabouts may experience operational and safety problems that are susceptible to improvement if the design deficiencies that originate them are identified and corrected. As a result, functional and safety improvements can be achieved with low-cost minor design changes.

The present article addresses these issues. First, the main principles for a sound design of roundabouts resulting from a review of international guidelines are presented. Next, the main conclusions of the studies of the correction of design deficiencies at in-service roundabouts with operational problems are summarized. And, finally, two illustrative cases of in-service roundabouts on Spanish roads experimenting frequent capacity and speeding problems are analysed, and low-cost corrective measures are proposed.

Prólogo

Los nudos y, especialmente, las intersecciones a nivel son puntos de conflicto dese el punto de vista de la seguridad de la circulación. En ellas confluyen maniobras que en sí mismas suponen un riesgo de accidente: giros, cruce de carriles, etc. Por ello, a estos puntos debe prestarse especial dedicación para diseñarlos de la forma más segura para realizar dichas maniobras y sean bien entendibles por los conductores.

Una tipología de nudo a nivel muy extendida en las carreteras convencionales son las glorietas o, más comúnmente denominada por los usuarios, "rotondas". Son una tipología que se ha evidenciado como de las más seguras, especialmente, en zonas perirurbanas o urbanas, con una buena capacidad y facilidad para la realización de movimientos que permitan incorporaciones y salidas por sus ramales con una cierta comodidad y menor riesgo. No obstante, como en todo, pueden existir ciertas disfuncionalidades que en algunos casos pueden resolverse con pequeñas actuaciones de bajo coste sobre la geometría y su señalización, ganando en capacidad y seguridad.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que una gran parte de los accidentes en las glorietas se producen en sus entradas, por lo que medidas tendentes a reducir la velocidad en sus aproximaciones, mejorar la percepción de los carriles y de la calzada giratoria son sumamente eficaces para mejorar el funcionamiento y seguridad en las mismas. Y existen actuaciones de coste bajo o moderado muy interesantes aplicar, tales como mejora de la señalización horizontal con marcas viales de selección de carriles, refuerzo de la señalización vertical, implantación de reductores de velocidad o bandas transversales de alerta.

Así pues, en el presente artículo se analiza algunas de las disfuncionalidades más habituales en este tipo de intersección, así como los efectos potenciales que pequeñas modificaciones en el diseño de las glorietas tienen sobre los niveles de servicio y seguridad, basado en el estudio de experiencias internacionales. También se muestran varias soluciones de ese tipo para dos casos concretos de glorietas en servicio con problemas de capacidad y elevadas velocidades.

Su lectura nos permitirá familiarizarnos con los problemas más habituales del diseño de las glorietas y adentrarnos en sus posibles soluciones, ya que las guías por sí solas no resultan suficientes para resolver todos los posibles condicionantes locales que pueden presentarse y que de no contemplarse adecuadamente generarán pérdidas de funcionalidad y seguridad en la fase de explotación.

Por último, como Presidente del Comité Técnico de Seguridad Vial de la Asociación Técnica de la Carretera, quisiera expresar mi agradecimiento a los autores de este artículo, por el trabajo llevado a cabo, por su esfuerzo y dedicación, ya que estoy seguro que contribuirá a plantearse cuestiones apuntadas en el artículo y mejorar el diseño de las futuras glorietas y el funcionamiento de las actuales que se encuentran en servicio y presentan ciertas carencias.

Roberto Llamas Rubio

Presidente

Comité Técnico de Seguridad Vial
Asociación Técnica de Carreteras

1. Introducción

En los últimos cuarenta años se ha generalizado el empleo de glorietas como alternativa a las intersecciones a nivel convencionales en gran parte del mundo. Las glorietas constan de una calzada anular que canaliza los flujos procedentes de tres o más accesos estableciéndose una circulación prioritaria de sentido único alrededor de una isleta central de forma que todos los movimientos entrada y de salida son giros a derechas. La experiencia acumulada en países de todo el mundo demuestra que en muchas situaciones esta disposición presenta

ventajas respecto al funcionamiento de una intersección convencional.

En España, la primera glorieta fue construida en 1976. Desde entonces la implantación de glorietas se ha desarrollado a un ritmo creciente, sobre todo tras la aprobación en 1990 de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial en la que se concedía la prioridad a los vehículos que circulan por la calzada anular. En la actualidad en España existen más de 35000 glorietas en servicio, lo que nos sitúa entre los países con mayor número de intersecciones de este tipo en el mundo.

A pesar de esta dilatada experiencia, en algunos casos las glorietas en servicio presentan problemas de funcionamiento y seguridad que son susceptibles de mejora si se identifican y se corrigen las carencias de diseño que los originan.

El proyecto de una glorieta es una tarea compleja que requiere múltiples iteraciones hasta satisfacer una serie de objetivos, a veces contrapuestos. Además, un buen diseño requiere integrar todos los elementos y objetivos de manera que el conjunto sea coherente, es decir, una concepción global del proyecto.

Para llevar a cabo esta tarea, las guías y las normas de diseño contrastadas internacionalmente son un excelente recurso, pero por sí solas no resultan suficientes ya que la mayor parte de las glorietas presentan unas condiciones particulares que frecuentemente resultan difíciles de ajustar a los estándares. Por ello, aun partiendo de los fundamentos que se deducen de la experiencia acumulada en el diseño de glorietas, resulta necesario estudiar con detalle cada caso particular para alcanzar una solución que satisfaga todos los condicionantes locales y evite pérdidas de funcionalidad y problemas de seguridad vial en la etapa de explotación. Cuando a pesar de todo se presentan estos problemas en las glorietas en servicio, resulta pertinente analizar las posibilidades de mejora del diseño y cuantificar su efecto en las condiciones de operación y de seguridad.

En este artículo se describen en primer lugar las bases que fundamentan el diseño de una glorieta sintetizadas a partir de las propuestas recogidas en los principales manuales y guías internacionales. A continuación, se resume la experiencia internacional sobre los efectos de la corrección de las deficiencias de diseño de glorietas en servicio con problemas de funcionamiento. Finalmente, en el apartado 4, se presentan dos casos de estudio que resultan ilustrativos de problemáticas que aparecen con cierta frecuencia en las carreteras españolas.

2. Bases generales del diseño de glorietas

2.1. Introducción

El proyecto de una glorieta se suele llevar a cabo tomando como datos de partida los valores de una serie de parámetros geométricos. Los parámetros usualmente empleados se representan en la Figura 1. Una vez

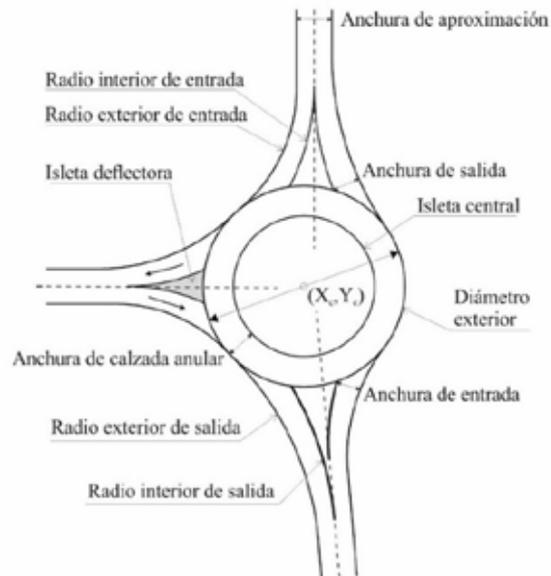


Figura 1. Parámetros geométricos

establecida la geometría se pueden obtener los valores de otros parámetros geométricos utilizados para evaluar el funcionamiento de la circulación en la glorieta, como el ángulo de entrada, que se determina trazando las tangentes a las líneas medias de la calzada en la entrada y en el anillo.

El proyecto debe abordar además la definición y el acondicionamiento de los itinerarios y los puntos de cruce de peatones y ciclistas cuando hay presencia de estos tipos de usuarios. Básicamente, se deben aplicar unos criterios generales de diseño que contemplen al menos los siguientes aspectos (Johnson, 2017):

- Relación entre el diseño y la capacidad.
- Influencia del trazado en la seguridad.
- Criterios generales de señalización.

2.2. Relación entre el diseño y la capacidad

La capacidad es el primer condicionante a considerar en el diseño de una glorieta, antes de especificar los detalles de su trazado. Es preciso es-

tablecer a priori el número mínimo de carriles en las entradas y en la calzada anular de manera que se pueda garantizar un adecuado nivel de servicio en las entradas bajo la demanda de tráfico prevista.

Los métodos de cálculo de la capacidad suelen proporcionar expresiones que relacionan la intensidad máxima que puede incorporarse por una entrada con el tráfico en la calzada anular frente a ella, o flujo de conflicto. Los factores que determinan la capacidad de una entrada son (Akcelik, 2008): los flujos de conflicto, el comportamiento de los conductores y la geometría de la glorieta. Otros factores que también hay que tener en cuenta son la presencia de peatones y la señalización. Los modelos internacionales desarrollados para evaluar la capacidad de una entrada consideran estos factores y pueden clasificarse en dos categorías:

- Modelos basados en la geometría: Se definen posibles relaciones funcionales entre la capacidad y el flujo de conflicto con coeficientes que dependen de la geometría de la glorieta y cuyos valores se obtienen mediante técnicas de regresión a partir de datos tomados

en glorietas saturadas. Los parámetros geométricos empleados como variables explicativas y que suelen resultar estadísticamente significativos son (Kimber, 1980): la anchura de la entrada, la anchura de la aproximación, la longitud del abocinamiento en la entrada, el diámetro exterior, el ángulo de entrada y el radio exterior de entrada. A excepción del ángulo de entrada, todos presentan una relación creciente con la capacidad. Los parámetros con mayor influencia en la capacidad son: la anchura de la entrada, la anchura de la aproximación y la longitud del abocinamiento en la entrada.

- Modelos basados en la geometría y el comportamiento del conductor: Estos tipos de modelos son probabilistas y se fundamentan en la teoría de aceptación del hueco. Esta teoría utiliza principalmente dos variables en la estimación de la capacidad de una entrada: la distribución de los intervalos temporales entre vehículos consecutivos de la corriente prioritaria y el grado de aprovechamiento de los huecos existentes en el flujo prioritario por los conductores que acceden a él desde la entrada. Este grado de aprovechamiento de los huecos se puede estimar mediante dos variables: el intervalo crítico y el intervalo entre vehículos sucesivos. El intervalo crítico se refiere a un valor del intervalo entre vehículos consecutivos de la corriente prioritaria para el cual el 50% de los conductores que se encuentran en la entrada decidiría incorporarse a ella. El intervalo entre vehículos sucesivos se corresponde con el valor medio del intervalo entre vehículos que situados inicialmente en cola en la entrada se incorporan de forma sucesiva a la corriente prioritaria aprovechando un mismo hueco en ella.

Los modelos de aceptación del hueco captan en mayor o menor

grado la geometría de la intersección. Las guías de E.E.U.U. (NCHRP, 2010) y Alemania (Brilon y Wu, 2008) proporcionan modelos independientes dependiendo del número de carriles y de las dimensiones de las calzadas de los accesos y del anillo giratorio. En Australia (Akcelik, 2004) se considera además la influencia de otros factores como el radio de entrada y el ángulo en la trayectoria de entrada.

Tradicionalmente en España se han utilizado modelos de estimación de la capacidad basados en la geometría de la glorieta. Por ello se ha decidido emplear en el análisis de los casos prácticos que se exponen más adelante un método de estas características.

A modo de resumen en la Tabla 1 se describe el sentido en el que cada uno de los parámetros geométricos afecta a la capacidad de las entradas (Kuhlow, 2011).

2.3. Influencia del trazado en la seguridad

Una vez establecida la configuración más adecuada de los carriles para dotar a la glorieta de una suficiente capacidad se puede proceder a su diseño geométrico. Éste debe perseguir los siguientes objetivos (NCHRP, 2010):

- Conseguir una moderación de las velocidades de circulación en la aproximación y paso por la glorieta desde todas las entradas, así

Elemento de diseño	Capacidad
Diámetro exterior grande	Aumenta
Aumento de la anchura de la calzada anular	Aumenta
Aumento de la anchura de la entrada	Aumenta
Radio del borde exterior de entrada grande	Aumenta
Ángulo entre accesos grande	Disminuye
Bajo ángulo de entrada	Aumenta
Aumento gradual de la anchura en la entrada	Aumenta

como una adecuada consistencia de velocidades. Este aspecto es clave para la seguridad y condiciona de manera significativa la geometría final de la glorieta (AUSTROADS, 2011).

Su análisis no se aborda de la misma manera en todas las guías de diseño. La tendencia actual consiste en determinar las trayectorias de los vehículos que, subjetivamente, se consideran más rápidos, estimar posteriormente las velocidades a lo largo de estas trayectorias, y finalmente comprobar que los valores máximos de la velocidad y de la consistencia evaluada conforme a unos indicadores preestablecidos son satisfactorios. Esta comprobación es muy laboriosa y en la Norma 3.1.-IC de Trazado no se especifica ningún procedimiento para realizarla. Rubio et. al (2019) proponen una metodología que permite llevar a cabo esta tarea de una manera automatizada.

En general, la consecución de una adecuada moderación y consistencia de velocidades queda muy condicionada por la posición relativa de la calzada anular y de las entradas, que debe perseguir la presencia de inflexiones en las trayectorias de los vehículos.

- Proporcionar un guiado eficiente de los vehículos en glorietas multicarril de forma que la circulación sea intuitiva y cada usuario utilice, en función del carril elegido en la entrada, el que corresponda de la

Tabla 2. Relación entre parámetros de diseño geométrico y seguridad

Elemento de diseño	Seguridad
Diámetro exterior grande	Menos seguro
Aumento de la anchura de la calzada anular	Menos seguro
Aumento de la anchura de entrada	Menos seguro
Radio del borde exterior de entrada grande	Menos seguro
Elevado ángulo entre accesos	Más seguro
Bajo ángulo de entrada	Menos seguro
Aumento gradual de la anchura en la entrada	Neutro

calzada anular, evitando la ocupación parcial de carriles adyacentes. Chlewicki (2017) resalta la importancia de una adecuada canalización de los movimientos ya que previene movimientos erráticos y disminuye la probabilidad de accidentes.

Para evitar que las trayectorias de los vehículos que entran en la glorieta por diferentes carriles se crucen en la calzada anular debido a que alguno de ellos no sigue la trayectoria natural que le corresponde, unas medidas eficientes son el incremento de los valores de los radios exteriores de entrada y de salida, el realineamiento de la entrada, la modificación del ángulo de entrada o la implementación de una nueva señalización.

- Garantizar el paso de los vehículos de mayores dimensiones que vayan a circular por la glorieta. Se facilita el paso conforme aumentan de tamaño los elementos de la glorieta, en particular la calzada anular y los carriles de entrada y salida, lo que va en detrimento de la moderación de velocidades y puede tener efectos adversos en la seguridad.

En planta, la introducción de un espacio extra como el proporcionado por un gorjal facilita el paso por la glorieta de los vehículos sin necesidad de incrementar la anchura de la calzada anular. El trazado en alzado debe garantizar que el bastidor de los vehículos más largos no roce con el pavimento.

- Acomodar a todos los modos de transporte, lo cual requiere la consideración en el diseño de los elementos necesarios para la implantación de los itinerarios peatonales y de ciclistas. Frecuentemente la presencia de estos itinerarios influye en el tamaño de las isletas deflectoras cuando éstas deben dar refugio a peatones o ciclistas.

Los principios generales que rigen el acomodo de los peatones y los ciclistas en las glorietas son (NCHRP, 2010): minimizar y simplificar los itinerarios, proporcionar una adecuada ubicación de las aceras y de los carriles bici, implantar pasos de peatones-ciclistas por las calzadas de acceso y proporcionar en la isleta deflectoras una zona de refugio que facilite la operación de cruce.

- Proporcionar unas buenas condiciones de visibilidad para que el conductor tenga una buena percepción de la intersección y de otros usuarios con los que puede entrar en conflicto.

Además, varias investigaciones, entre las cuales cabe destacar el extenso estudio realizado por Maycock y Hall (1984), establecen otros aspectos del diseño cuya consideración contribuye a la mejora de la seguridad:

- Minimización del número de accesos.
- Equilibrio de las distancias entre los accesos consecutivos.

- Control de algunos ángulos en unos ciertos rangos, en particular el que forma la trayectoria del vehículo que accede a la calzada anular con la del vehículo que circula por ella y el correspondiente al giro de la cabeza de un conductor desde la posición de entrada para que pueda divisar a otros aproximándose.

- Iluminación de la glorieta.

Como en el caso anterior, y a modo de resumen, se presenta en la Tabla 2 el sentido en el que cada uno de los parámetros geométricos influye en la seguridad viaria (Kuhlow, 2011).

Si se compara la información de la Tabla 2 con la de la Tabla 1 se deduce que las variaciones en las dimensiones de los elementos del diseño influyen, en muchos casos, en sentido inverso en las condiciones de capacidad y de seguridad. Esto refuerza la idea de que el diseño de una glorieta se debe realizar desde una perspectiva global, mediante la búsqueda de unos valores de los parámetros de diseño que satisfagan de manera equilibrada tanto los criterios de seguridad como los de capacidad, proceso que se puede convertir en un problema de optimización del trazado. Rubio et al (2014) proponen la aplicación de una técnica heurística de optimización en el diseño de glorietas que permite obtener la geometría de una glorieta de manera automatizada.

2.4. Criterios generales de señalización

La señalización regula los flujos de tráfico y facilita la integración de otros modos diferentes a los vehículos automóviles. Es un elemento crítico del diseño que tiene gran influencia en la seguridad y que puede mejorar igualmente la capacidad de las entradas. Debe concebirse de manera simultánea a la definición

del trazado en la fase de proyecto y, como en el caso de la geometría, es difícil de estandarizar.

Los principios básicos de una buena señalización en las carreteras son (MF, 2014): claridad, sencillez, uniformidad y continuidad. En el caso particular de las glorietas, Hawkins (2011) establece que la señalización debe reforzar los efectos buscados con el diseño geométrico mediante mensajes que persigan las siguientes finalidades:

- En las aproximaciones: ayudar a los conductores a situarse en el carril adecuado, advertir de la presencia de la glorieta y facilitar el tránsito de peatones.
- En las entradas: establecer el sistema de prioridad y la dirección del recorrido.
- En la calzada anular: informar de los tipos de movimientos permitidos y facilitar las salidas.
- En las salidas: confirmar el destino deseado y establecer los itinerarios peatonales.

Estos principios tienen aplicación en los países en que los conductores seleccionan el carril apropiado al destino elegido en las aproximaciones, con el objeto de evitar movimientos de cambio de carril en la calzada anular. En el caso de España, la Guía de Nudos Viarios (MF, 2012) recomienda utilizar el denominado método “Alberta”, que consiste en prolongar la línea de separación de los carriles de la calzada anular a través de las salidas. En los accesos recomienda que se utilicen las flechas de carril para asistir al conductor en la selección del carril correcto (Fig. 2). Bill (2017) expone como causa común de accidentes la elección incorrecta del carril en la aproximación, para cuya corrección es imprescindible diseñar de manera adecuada la señalización.

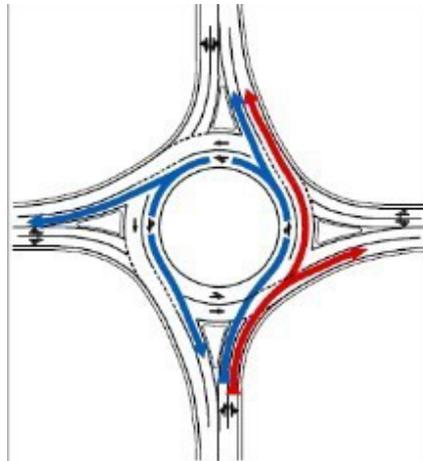


Figura 2. Señalización horizontal en glorietas. Fuente: MF, 2012

Sin embargo, esta forma de funcionamiento no es compatible con la interpretación que actualmente hacen las autoridades de tráfico del Reglamento de Circulación en España, que consideran que la salida de la calzada anular debe realizarse siempre desde el carril exterior, lo cual es difícil de llevar a la práctica cuanto las glorietas tienen un tamaño pequeño o moderado.

3. Efectos potenciales de la corrección de las deficiencias de diseño de glorietas en servicio con problemas de funcionamiento

En la literatura científica se pueden encontrar diferentes estudios en los que se analiza el impacto sobre los niveles de servicio y la seguridad de modificaciones menores del diseño de glorietas en servicio que presentan un funcionamiento deficiente. Se describen a continuación algunos de ellos, entendiendo como modificaciones menores aquellas de poca entidad que no persiguen una reforma integral de la intersección. Pueden afectar a la geometría o simplemente a la señalización.

Relacionados con la modificación de la geometría, Price y Rust (2011) presentan varios casos de EE.UU. en los que se consigue una mejora

significativa del control de las velocidades y del guiado de los vehículos mediante unas correcciones menores del trazado. En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de este estudio en el que se propone la mejora del trazado de una glorieta de tres patas mediante el realineamiento de las entradas y las salidas y la implantación de un giro segregado directo. El impacto en el entorno es reducido. Según los autores es importante evitar puntos angulosos en la delimitación de los bordes de las calzadas.

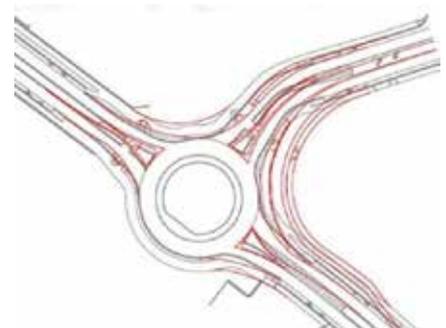


Figura 3. Correcciones en la geometría para mejorar el diseño. Fuente: Price y Rust, 2011

En la misma línea, Vorisek (2011) presenta un caso de estudio de una glorieta en EE.UU. con problemas en la regulación de la prioridad, elevadas velocidades en las entradas e inadecuada canalización de los movimientos (Fig. 4a). En este caso se aplicaron dos tipos de mejoras. En primer lugar, se modificó la señalización horizontal en los accesos y en la calzada anular (Fig. 4b), pasando esta última a tener una anchura variable; posteriormente, se modificó el trazado de las entradas (Fig. 4c) con el objetivo de introducir unas inflexiones en las trayectorias de los vehículos. Tras la puesta en servicio de estas medidas se constató una buena moderación de las velocidades de los vehículos a su paso por la glorieta, una mejora notable en el funcionamiento de la regulación de los flujos en las entradas y un guiado eficiente de los vehículos acorde con las trayectorias naturales.

En relación a las guías de diseño de glorietas, cabe destacar las pro-



Figura 4. Correcciones del trazado y de la señalización (a) la situación original (b) modificación de la señalización (c) modificación de la geometría. Fuente: Vorisek (2011)

puestas del estado de Queensland (Australia) para favorecer la presencia de deflexiones en el perfil de velocidades de los vehículos en la aproximación y paso por la glorieta. Consisten en la modificación de la anchura de la calzada en las entradas de forma que se generen inflexiones en las trayectorias de los vehículos y en la implantación de curvas sucesivas de distinto sentido en las aproximaciones a la glorieta (Fig. 5).

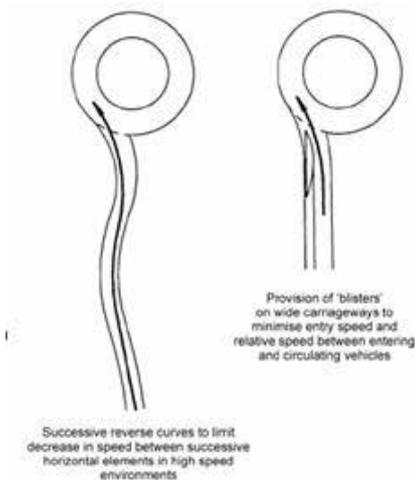


Figura 5. Mejora de la geometría en las entradas para favorecer el estudio de velocidades. Fuente: QDMR, 2007

En cuanto al efecto de la señalización en la circulación, Pochowski (2017) presenta un caso de glorieta multicarril en servicio en EE.UU. que al tener un exceso de capacidad fue convertida en una de carril único modificando la señalización horizontal.

Se concluyó que la reducción del número de puntos de conflicto fue un factor importante en el descenso de la siniestralidad. Shea (2017) en un caso similar destaca el bajo coste que supone una medida de estas características frente al gran beneficio obtenido en la seguridad.

McCulloch (2011) expone un caso en el que mediante la modificación de la señalización horizontal y aprovechando la plataforma existente se consigue mejorar significativamente la canalización de los flujos, el guiado de los vehículos y en general las características de la circulación. En la Fig.6 se representa en color blanco la glorieta en su estado original y en color magenta la modificación realizada, que consistió principalmente en el aumento del número de carriles en las entradas, manteniendo su continuidad por el anillo y por las salidas, y la modificación de la anchura de los carriles y de la geometría de las isletas.



Figura 6. Mejora de la funcionalidad mediante nueva señalización horizontal aprovechando el espacio existente. Fuente: McCulloch, 2011

En EE.UU. Hu et al. (2011) determinan que, conforme a las observaciones de campo, el 70% de los accidentes se producen en las entradas, por lo que proponen una serie de medidas para reducir la velocidad en las aproximaciones y mejorar la percepción de los carriles y de la calzada giratoria. Estas consisten en la mejora de la señalización horizontal con marcas viales de selección de carriles, el refuerzo de la señalización vertical y la implantación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta (Fig. 7).

También mediante actuaciones menores se puede modificar una tipología convencional de glorieta para convertirla en otra más singular y novedosa con efectos positivos sobre la circulación. En esta línea, en Nueva Zelanda Campbell et al. (2012) presentan dos casos de transformación de una glorieta multicarril convencional en una con tipología C-glorieta (Campbell et al. 2006). Este tipo de glorieta queda caracterizada por presentar una isleta central con geometría ovalada y gorjal y una anchura de los carriles más reducida que en el diseño original (Fig. 8). El objetivo perseguido es la moderación de las velocidades de circulación para mejorar la seguridad de los ciclistas. Los autores evaluaron el nivel de servicio y la seguridad en los dos casos



Figura 7. Mejora de la señalización para mejorar la percepción. Fuente: Hu et al., 2011



Figura 8. Modificación de la tipología hacia una C-glorieta (a) la situación original (b) el diseño modificado. Fuente: Campbell et al. 2012

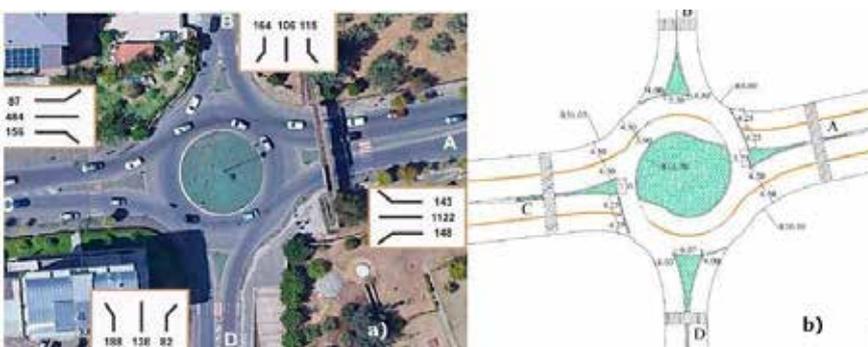


Figura 9. Modificación de la tipología hacia una turboglorieta (a) la situación original (b) el diseño modificado. Fuente: Gallelli y Vaiana, 2019

de estudio antes y después de la transformación. Los resultados manifestaron una leve disminución de la capacidad y una reducción de las velocidades máximas de paso por la glorieta de hasta 30 km/h, lo que implicó una mejora de la seguridad de todos los usuarios.

En Italia, Gallelli y Vaiana (2019) evaluaron el efecto en la circulación de la transformación de una glorieta multicarril convencional en una turboglorieta aprovechando la plataforma existente (Fig. 9). Tanto las simulaciones realizadas en la fase de estudio como las observaciones de

la circulación llevadas a cabo in situ evidenciaron mejoras considerables en la capacidad y en la seguridad.

Del análisis de los trabajos consultados se concluye que mediante modificaciones de pequeña entidad de la geometría y la señalización de una glorieta en servicio con funcionamiento deficiente se puede conseguir una mejora significativa de la capacidad y la seguridad. Para corroborar estos resultados, se presenta en el apartado siguiente la aplicación de algunas de estas medidas a dos gloriets en servicio de la red viaria española que presentan problemas en la circulación.

4. Casos de estudio

4.1. Glorieta urbana con problemas de capacidad

El primer caso de análisis es una glorieta de gran diámetro que resuelve la conexión de una vía de gran capacidad (IMD=38.232 veh/día) con el entramado urbano de un municipio (Fig. 10). La glorieta presenta cinco patas que se distribuyen de una manera no demasiado uniforme a lo largo del círculo inscrito. En el entorno de la glorieta, dotada de iluminación, se puede identificar un número importante de edificaciones y servicios.

La glorieta presenta problemas de saturación en las entradas, principalmente en las patas N y E (incluso en la imagen de satélite se pueden apreciar las colas). Mediante unas modificaciones menores se desea mejorar las características de la circulación, para cuya evaluación se requiere disponer de información detallada de la geometría y de los flujos de tráfico. La geometría de la glorieta se ha podido parametrizar a partir de una cartografía a escala 1/1.000 de la zona, y la matriz origen-destino del tráfico se ha obtenido de un aforo de 16 h de duración (entre las 6 h y las

22 h) realizado mediante cámaras de visión artificial en un día laborable de noviembre de 2018. En cuanto a los registros de accidentes no ha sido posible obtener ningún tipo de información.

De la geometría de la glorieta se han extraído los valores de los parámetros geométricos siguientes, necesarios para obtener la relación capacidad-flujo de conflicto en las entradas conforme al método de Kimber (1980):

v = la mitad de la anchura de la calzada en la aproximación.

e = anchura de la calzada en la entrada.

l = longitud media efectiva del abocinamiento de la entrada.

fi = ángulo de entrada.

r = radio del borde exterior de la entrada.

D = diámetro del círculo inscrito

Los valores de estos parámetros para las diferentes entradas se muestran en la Tabla 3.

La relación entre la capacidad Q_e y el flujo de conflicto Q_c resultante en cada entrada es la siguiente:

$$SE: Q_e = 2.033 - 0,60 \times Q_c$$

$$E: Q_e = 1.555 - 0,51 \times Q_c$$

$$N: Q_e = 1.226 - 0,45 \times Q_c$$

$$NO: Q_e = 1.524 - 0,53 \times Q_c$$

$$SO: Q_e = 1.403 - 0,50 \times Q_c$$

En cuanto al tráfico sólo se dispone de los volúmenes totales medidos durante el período de 16 horas. Por ello, las variaciones temporales se han extraído de una estación permanente situada en las proximidades, con el objetivo de estimar las intensidades horarias IH-100 de todos los movimientos. En la Tabla 4 se muestran los valores de la IH-100 de los movimientos en unidades de vehícu-

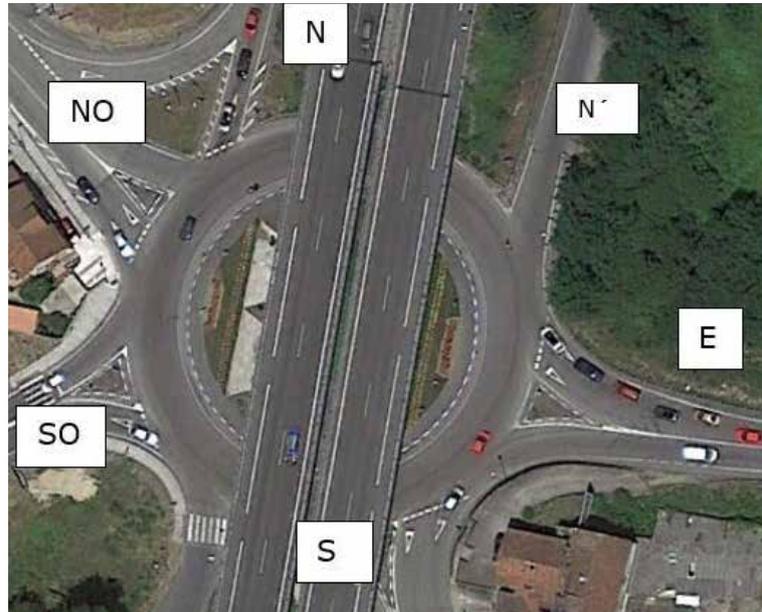


Figura 10. Caso de estudio: glorieta multicarril con problemas de capacidad. Fuente: Google Earth

Tabla 3. Parámetros geométricos utilizados en el cálculo de capacidad en la situación actual

Entrada	v (m)	e (m)	l (m)	fi (g)	r (m)	D (m)
SE	6,43	6,93	0,00	21,0	18,9	64,0
E	4,08	7,29	5,70	36,0	17,7	64,0
N	4,15	4,15	0,00	31,0	12,0	64,0
NO	3,78	6,80	3,75	15,0	32,0	64,0
SO	3,78	4,86	4,56	19,0	20,0	64,0

los equivalentes por hora (veh-eq/h). Para su cálculo se ha considerado, conforme a los resultados del aforo, un porcentaje de pesados del 6,5% en todos los movimientos.

Con la información anterior se han calculado los grados de saturación y los niveles de servicio en las entradas (Tabla 5). El significado de las variables que aparecen en la tabla es el siguiente:

- le : intensidad en la entrada
- ls : intensidad en la salida
- Q_e : capacidad en la entrada
- Q_c : flujo de conflicto en la entrada
- S : grado de saturación

Los resultados muestran que dos de las entradas presentan un grado de saturación elevado, igual o supe-

rior a 0,85. Esta situación se ha podido comprobar también en las observaciones de campo. Por otro lado, se ha comprobado también que el diseño actual permite el paso de los vehículos más largos que es probable que circulen por la glorieta.

Con el objetivo de mejorar el funcionamiento de la circulación se ha planteado una propuesta de mejora. Aunque dada la configuración y el número de accesos lo ideal en casos como este sería la sustitución de la glorieta actual por dos glorietas de menores dimensiones (si las colas que se forman en la vía que conecta las glorietas no bloquean las mismas), en este caso particular se ha descartado esta solución debido al impacto que se generaría en el entorno urbano. La actuación propuesta consiste en unas modificaciones menores del diseño con el principal

Tabla 4. Matriz origen – destino de intensidades IH-100 (veh-eq/h).

	SE	E	N	NO	SO	
SE	46	170	16	149	326	706
E	74	0	562	282	152	1.070
N	120	169	26	59	302	676
NO	70	154	198	0	66	487
SO	232	273	192	0	0	696
	542	765	993	490	846	3.636

Tabla 5. Grado de saturación y nivel de servicio de las entradas en la situación actual

	le (veh-eq/h)	Is (veh-eq/h)	Qe (veh-eq/h)	Qc (veh-eq/h)	S = le / Qe	NS	
SE	707	542	1.424	1.012	0,50	A	Adecuado
E	1.070	766	1.072	953	1,00	F	Congestión
N	676	994	795	1.029	0,85	E	Saturado
NO	488	490	883	1.215	0,55	C	Adecuado
SO	697	846	976	857	0,71	B	Adecuado

Tabla 6. Parámetros geométricos utilizados en el cálculo de capacidad en la glorieta modificada

Entrada	v (m)	e (m)	l (m)	fi (g)	r (m)	D (m)
SE	6,43	8,00	17,00	30,0	30,0	57,0
E	4,08	7,50	10,00	25,0	25,0	57,0
N	4,15	6,00	6,00	36,0	25,0	57,0
NO	3,78	4,50	4,00	27,0	17,5	57,0
SO	3,78	4,60	6,00	30,0	17,5	57,0

Tabla 7. Grado de saturación y nivel de servicio de las entradas en la glorieta modificada

	Qe (veh/h)	Qc (veh/h)	isat = le / Qe	NS	NS acceso	
SE	1.510	1.012	0,35	A	A	Adecuado
SE (By-pass)	561	1.012	0,31	A		Adecuado
E	927	953	0,55	C	B	Adecuado
E (Bypass)	923	432	0,61	A		Adecuado
N	1.073	1.029	0,63	C	C	Saturado
NO	822	1.215	0,6	B	B	Adecuado
SO	972	857	0,71	C	C	Adecuado

objetivo de mejorar las características de la circulación en las entradas más saturadas, las patas E y N. Se ha buscado modificar los parámetros con mayor influencia en la capacidad: la anchura de la entrada y la longitud media del abocinamiento. Además, se ha intentado facilitar la circulación en el resto de los accesos mediante una mejora de la canalización de los movimientos, lo cual a su

vez redonda en un incremento de la seguridad.

La actuación propuesta se refleja en la Figura 11 y se ha apoyado principalmente en las guías y normas de diseño y señalización MF(2012), MF(2014) y MF(2016). Dadas las limitaciones de espacio, las modificaciones han consistido fundamentalmente en la reducción de la anchura de la calzada anular y del diámetro

exterior, y en el aprovechamiento de algún espacio adicional en las zonas sin servicios ni edificaciones (espacio interior en las patas N y N'). En la Tabla 6 se muestran los valores de los parámetros que permiten estimar la relación capacidad-flujo de conflicto en las entradas.



Figura 11. Geometría de la propuesta de mejora

La nueva geometría no interfiere con ningún servicio y requiere una modificación de la señalización en los accesos, principalmente en aquellos que se han dotado de carriles segregados. Como se observa en la Figura 12 el diseño es compatible con el paso de un vehículo articulado y, en la calzada giratoria, de manera simultánea con un turismo.



Figura 12. Caso de estudio: comprobación de áreas barridas en la propuesta

En la Tabla 7 se muestran los grados de saturación y los niveles de servicio obtenidos en las entradas con la nueva geometría. Se observa que los niveles de servicio han mejorado notablemente. Un estudio de

la evolución de la demanda de tráfico puede concluir hasta qué año el diseño podría mantenerse con unos niveles de servicio adecuados.

4.2. Glorieta periurbana con problemas de elevadas velocidades

El segundo caso de estudio es una glorieta periurbana de tres patas, dotada de iluminación, que resuelve la intersección entre una vía principal de doble calzada (carretera multicarril) y una secundaria de calzada única con disposición perpendicular a la anterior (Fig. 13).

La intensidad de tráfico en la vía principal es elevada, habiéndose registrado en una estación de aforo próxima una IMD de 26.663 veh/día en el año 2018. La velocidad media de circulación en la vía principal, obtenida también de aforos oficiales, es de 79 km/h, y la velocidad máxima señalizada de 80 km/h. Hay que añadir que a unos 300m al sur de la glorieta se localiza un radar fijo de control de la velocidad en la calzada con sentido norte. Además, en las aproximaciones a la glorieta por la vía principal hay dispuestas unas bandas transversales de alerta (tipo resaltadas).



Figura 13. Caso de estudio: glorieta multicarril con problemas de elevadas velocidades. Fuente: Google Earth

Las deficiencias identificadas en esta glorieta que pueden afectar a la calidad de la circulación se resumen a continuación:

- Las trayectorias de los vehículos a su paso por la glorieta pueden ser casi rectilíneas (líneas rojas en la Figura 13), pues el diseño no induce la presencia de inflexiones en las mismas. Por lo tanto, no existe deflexión en el perfil de velocidades de los movimientos de paso por la vía principal y las velocidades practicadas en las entradas a la glorieta son elevadas. Seguramente por este motivo se ha dispuesto en las proximidades un radar fijo, pues una velocidad elevada en la aproximación a la glorieta incrementa el riesgo de accidente, tanto por pérdida de control del vehículo como por colisión con otros vehículos que circulan por la calzada anular durante la propia maniobra de entrada.
- El diseño no contempla un adecuado equilibrio en el número de carriles, pues las entradas son de uno o dos carriles y la calzada anular presenta tres.
- La canalización de los movimientos puede no resultar clara para el conductor. De hecho, observando las rodadas, parece que los movimientos de entrada a la calzada anular desde los carriles exteriores de la vía principal no pueden realizarse, sin un movimiento forzado, hacia el carril exterior de la calzada giratoria, que sería el movimiento natural, lo cual puede ser fuente de conflictos. El origen de esta problemática suele radicar en la adopción de un valor reducido del radio exterior de entrada.
- Observando las rodadas de los vehículos se pueden apreciar amplias zonas de la glorieta que no son necesarias, lo cual determina

que las dimensiones de algunos elementos podrían reducirse, lo que incrementaría la seguridad de la glorieta.

Las medidas que se han propuesto para mejorar las características de la circulación han consistido en la modificación de la geometría de las patas de aproximación a la glorieta por la vía de doble calzada para conseguir una moderación de las velocidades de aproximación, y de las dimensiones de la calzada anular y de los accesos para mejorar la canalización de los flujos, alcanzar un mejor equilibrio de carriles y un mayor control de las velocidades de entrada a la glorieta. El diseño propuesto considera además modificaciones en el número de carriles de la calzada anular. Conforme a los criterios establecidos en la Guía de Nudos (MF 2012), se recomienda que, en el caso de glorietas multicarril, cuando hay una salida de un único carril, se reduzca la anchura de la calzada anular a un carril antes de llegar a ella. Esta configuración requiere un cuidado especial en el diseño de la señalización con el objetivo de orientar adecuadamente a los conductores en la selección del carril más adecuado a la maniobra prevista en la aproximación a la glorieta.

En la Figura 14 se muestra la geometría resultante tras las modificaciones anteriores (en color rojo) junto a las trayectorias más rápidas de los movimientos de paso por la vía principal (en verde), que han sido determinadas siguiendo la metodología recogida en Rubio et. al (2019) y en Rubio (2017).

Se puede percibir que la modificación de la geometría induce la aparición de un mayor curvado en las trayectorias más rápidas y por lo tanto un descenso de las velocidades a lo largo de ellas, lo cual favorece la consistencia y, en definitiva, la seguridad viaria. Se busca una reducción

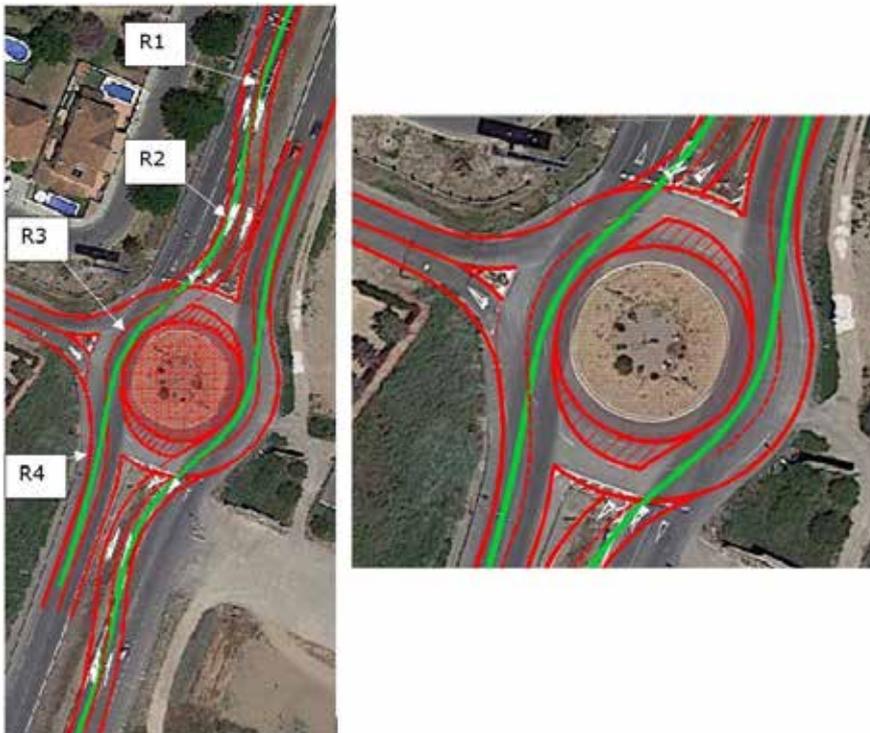


Figura 14. Caso de estudio: Geometría con las modificaciones propuestas junto a las trayectorias más rápidas



Figura 15. Modelo 3D de la solución propuesta (a) Vista desde el acceso sur (b) Vista desde el acceso norte

gradual de la velocidad en la aproximación y en la entrada a la calzada anular, desde la cual posteriormente se inicia la maniobra de aceleración hacia la salida.

Los resultados obtenidos se consideran satisfactorios conforme a los criterios establecidos en la Guía de Nudos (MF 2012). Se muestran a continuación algunos detalles de los mismos:

- El primer radio de la trayectoria (R1) tiene un valor del orden de 140m, luego se puede asumir una V85 de aproximadamente 55 km/h.
- El segundo radio de la trayectoria (R2) tiene un valor del orden de 55m, luego se puede asumir una V85 de 35 km/h.
- El tercer radio (R3), en la calzada anular, tiene un valor del orden de

35m, luego se puede asumir una V85 de 30 km/h.

- El radio de salida (R4) tiene un valor del orden de 180m, y las velocidades dependen de la capacidad de aceleración de los vehículos.

Por último, para valorar la integración de la mejora propuesta y la nueva señalización en el conjunto de la vía se ha desarrollado un modelo en tres dimensiones con herramientas utilizadas habitualmente en la metodología BIM. En la Figura 15 se muestran los resultados de la implantación.

5. Conclusiones

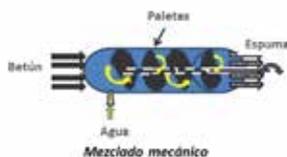
De lo expuesto en este artículo, puede concluirse que resulta posible conseguir mejoras significativas en la circulación, tanto desde el punto de vista de los niveles de servicio como de la seguridad, en glorietas en servicio con deficiencias en su funcionamiento mediante correcciones menores de bajo coste del trazado y de la señalización con un reducido impacto en el entorno.

6. Bibliografía

- [1] AKÇELIK, R. (2004). Roundabouts with unbalanced flow patterns. Paper presented at the ITE 2004 Annual Meeting, Lake Buena Vista, Florida, USA.
- [2] AKÇELIK R. (2008). The Relationship between Capacity and Driver Behaviour. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Kansas City, MO, EEUU.
- [3] AUSTRROADS. (2011). Roundabouts. Guide to Road Design. Part 4B. Association of Australian State Road and Transport Authorities. Sydney, Australia.

- [4] BILL, A. (2017). Statewide Roundabout Safety Analysis. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Green Bay, Wisconsin, EEUU.
- [5] BRILON, W. y WU, N. (2008). Kapazitaet von Kreisverkehren Aktualisierung. (Capacity of roundabouts). Strassenverkehrstechnik, Nr. 5, S. 280 – 288.
- [6] CAMPBELL, D., JURISICH, I. y DUNN, R. (2006). Improved multi-lane roundabout designs for cyclists. Land Transport NZ research report 287. 140pp.
- [7] CAMPBELL, D., ASMUS, D., JURISICH, I. y DUNN, R. (2012). Evaluation of the C-roundabout – an improved multi-lane roundabout design for cyclists. NZ Transport Agency research report 510. 138pp.
- [8] CHLEWICKI, G. (2017). Comparing Ramp Terminal Roundabouts with Diverging Diamond Interchanges. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Green Bay, Wisconsin, EEUU.
- [9] GALLELLI, V. y VAIANA, R. (2019). Safety Improvements by Converting a Standard Roundabout with Unbalanced Flow Distribution into an Egg Turbo Roundabout: Simulation Approach to a Case Study. Sustainability, 11(2):466.
- [10] HAWKINS (2011). Signing and Marking of Roundabouts. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.
- [11] Hu, W., Mc Cartt, A. y Mandavilli, S. (2011). Study of Crash Patterns and Related Factors at Kansas and Washington Roundabouts. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.
- [12] JOHNSON, M. (2017). Design principles for safety and operations of multi-lane roundabouts. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Green Bay, Wisconsin, EEUU.
- [13] KIMBER, R. (1980). The traffic capacity of Roundabouts. Report LR 942. TRL Laboratory. Crowthorne, London. England.
- [14] KUHLOW, K. (2011). Roundabout Geometric Design. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.
- [15] MAYCOCK, G. y HALL, R. (1984). Accidents at 4-arm roundabouts. Report LR 1120. TRL Laboratory. Crowthorne, London. England.
- [16] McCULLOCH, H. (2011). Entry Path Overlap – What is it and how to Fix it. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.
- [17] MINISTERIO DE FOMENTO (MF) (2012). Guía de Nudos Viarios. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.
- [18] MINISTERIO DE FOMENTO (MF) (2014). Norma 8.1.I.C. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.
- [19] MINISTERIO DE FOMENTO (MF) (2016). Norma 3.1.I.C. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.
- [20] NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP). (2010). Roundabouts: An information guide 2nd edition. Rep. No. 672, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC. EEUU.
- [21] POCHOWSKI, A. (2017). NCHRP Synthesis Report 488: Roundabout Practices. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Green Bay, Wisconsin, EEUU.
- [22] PRICE, P. y RUST, P. (2011). Preventing path overlap by design: Evaluating two differing techniques. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU.
- [23] QUEENSLAND DEPARTMENT OF MAIN ROADS (QDMR) (2007). Roundabouts. Chapter 14 of the Road Planning and Design Manual. Brisbane, Australia.
- [24] RUBIO-MARTÍN, J.L, JURADO-PIÑA, R. Y PARDILLO-MAYORA, J.M. (2014). A heuristic procedure for the optimization of speed consistency in the geometric design of single-lane roundabouts. Canadian Journal of Civil Engineering, 42:13-21.
- [25] RUBIO-MARTÍN, J.L (2017). Tesis Doctoral “Optimización del diseño geométrico de glorietas mediante algoritmos genéticos”. E.T.S de ICCP, Universidad Politécnica de Madrid.
- [26] RUBIO-MARTÍN, J.L, JURADO-PIÑA, R. Y PARDILLO-MAYORA, J.M. (2019). Automated Identification of Fastest Vehicle Paths at Roundabouts. Journal of Transportation Engineering (ASCE), Part A: Systems. Vol 145 Issue 9.
- [27] SHEA, B. (2017): Reed Market/15th Street Roundabout Project. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Green Bay, Wisconsin, EEUU.
- [28] VORISEK, J. (2011): Entrance modifications to Reduce Speeds at Existing Roundabouts. Paper presented at the TRB National Roundabout Conference, Carmel, Indiana, EEUU. ❖

Experiencia Espuma Betun



Foamed Bitumen Experience

GT-7 (periodo 2018-2020) Mezclas Bituminosas con Espuma de Betun. Comité de Firmes

Francisco Vea (Coordinador), Javier Payán, José M^a Sedeño, Carlos García Serrada, M^a Elena Hidalgo Pérez, Javier Loma, José Simón, Roberto Orozco Martín, Pablo Alvarez, Jose Berbis y Emilio Moreno

Las mezclas bituminosas semicalientes, y más concretamente, las mezclas fabricadas con la tecnología de espuma de betún son, en la actualidad, el vehículo mejor posicionado, por su potencial de impacto a corto plazo, para conseguir reducciones de emisiones de CO₂ significativas para los fabricantes de mezclas bituminosas. De las experiencias hasta la fecha, tanto fuera como dentro de nuestras fronteras, existe un consenso general sobre el buen comportamiento de este tipo de mezclas en los pavimentos ejecutados, encontrando, eso sí, alguna dificultad a la hora de conseguir armonización experimental en la forma de evaluar en laboratorio dicho desempeño. Es por ello que el presente artículo pretende recoger en un mismo documento la normativa actual referente a este tipo de mezclas, el estado de la técnica, algunas recomendaciones sobre la implementación de la misma y trata de realizar una primera aproximación, a nivel de experimentación en laboratorio, sobre las tendencias de comportamiento de este tipo de mezclas cuando se evalúan conforme a los protocolos y normativa actuales de ensayos de mezclas en caliente. De la dispersión de resultados encontrada entre los diferentes laboratorios involucrados, se constata que es necesaria una profundización sobre los procedimientos actuales que entendemos podría encauzarse vía acuerdos entre las distintas administraciones de carreteras y los fabricantes, de forma análoga a lo realizado en otros países, con el fin de sentar las bases de un procedimiento robusto y armonizado que permita un control de calidad representativo que refleje el buen comportamiento de este tipo de mezclas en las obras ejecutadas.

Warm asphalt mixes, and more specifically, mixes manufactured with foamed bitumen technology, are currently the best on the market, due to their potential impact in the short term, to achieve significant CO₂ emission reductions for manufacturers of asphalt mixes. To date, both in Spain and abroad, there is a general consensus on the good performance of this type of mix in the pavements that have been built, although there is some difficulty in achieving experimental harmonization in the way this performance is evaluated in the laboratory. For this reason, this article aims to bring together in a single document: The current regulations concerning this type of mix, the state of the art, recommendations on the implementation of the same. Attempts to make a first approximation, at the level of laboratory experimentation, on the performance trends of this type of mix when evaluated in accordance with the current protocols and regulations for testing hot mixes. From the dispersion of results found between the different laboratories involved, it is clear that there is a need for an in-depth study. Which could be channeled via agreements between the different road administrations and manufacturers, in a similar way to what has been done in other countries, in order to lay the foundations for a robust and harmonised procedure that allows a quality control that reflects the good performance of this type of mixes in the works executed.

1. Antecedentes

El presente artículo técnico pretende aglutinar y resumir los trabajos llevados a cabo dentro del grupo de trabajo GT-7 de la ATC durante los dos últimos años y que han dirigido sus esfuerzos al estudio y encaje en la normativa actual de las características de las mezclas bituminosas semicalientes fabricadas con la tecnología de espuma de betún. Estas tareas se engloban, a su vez, dentro de los grupos de trabajo del plan estratégico PIARC para el estudio de la huella de carbono de pavimentos de carretera y responden a la estrategia global europea que persigue el pacto Verde Europeo.

Este pacto, que es parte integrante de la estrategia de la comisión europea para aplicar la Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible de las naciones Unidas, persigue armonizar estrategias para que las empresas puedan ser parte de la solución al problema climático comprometiéndose a eliminar emisiones de carbono de sus propias operaciones y de sus cadenas de suministro con el objetivo final de que la UE sea climáticamente neutra en 2050.

Las mezclas a menor temperatura, y más concretamente las mezclas semicalientes, son una alternativa de reducción real del impacto ambiental para la fabricación de pavimentos para carreteras, en términos de consumo de energía y emisiones asociadas. La tecnología de espuma de betún, ya sea directa o indirecta, supone una herramienta muy potente para la generalización de esta práctica de fabricación a menor temperatura ya que las inversiones necesarias para adaptar las centrales de fabricación actuales a este proceso son asumibles a corto plazo. Está por tanto en nuestra

mano que, a través del conocimiento profundo de esta técnica y de la correcta evaluación técnica de las mezclas resultantes, tanto en su fabricación como en su puesta en obra, seamos capaces de consolidar un procedimiento de fabricación que nos permita mejorar sensiblemente el impacto de nuestra actividad.

2. Normativa existente

De forma general, la normativa de referencia para las mezclas semicalientes fabricadas con la tecnología de espuma de betún, permanece invariable con respecto a las mezclas en caliente, excepción hecha de los límites de temperatura de fabricación y puesta en obra de la mezcla. Es el caso del Pliego de Prescripciones Técnicas particulares PG-3 en España, que sitúa el límite máximo de temperatura de fabricación en 140°C a la salida del mezclador para todas las tecnologías de fabricación de mezcla semicaliente. Paralelamente, su empleo se restringe, en este pliego, a pavimentos para carretera con categoría de tráfico T1 a T4.

En cuanto a la evaluación de las características de las mezclas fabricadas a menor temperatura, la normativa española permite el uso de la compactación giratoria siempre que el grado de compactación sea equivalente al método de referencia, la compactación por impactos, y ésta se alcance en un número de giros determinado. La normativa en otros países europeos apunta en la misma dirección, aunque se pueden observar cambios en los rangos de temperatura de fabricación y puesta en obra con el objetivo claro de alcanzar densidades de puesta en obra equivalentes a las alcanzables por las mezclas convencionales.

En Alemania, por ejemplo, se definen los rangos de temperatura de fabricación y extendido en función del grado de penetración del betún empleado[1]. En Noruega se admite la mezcla de betunes de distinto grado para conseguir betunes con mayor capacidad de espumación[1]. En el caso de Francia, se fomenta la colaboración entre SETRA (Service d'études techniques, des routes et autoroutes) y las empresas implicadas en el desarrollo de técnicas a menor temperatura, con el fin de aprobar protocolos, guías de aplicación y estándares de calidad [1]. Fuera de las fronteras europeas, en EEUU, donde el auge del uso de mezclas semicalientes fabricadas con espuma de betún es significativo, se han desarrollado por parte de las administraciones numerosas investigaciones con el fin de potenciar la reducción de emisiones en la fabricación de mezclas asfálticas a través del uso de la espuma de betún. Con carácter general, de estas investigaciones destaca la variabilidad de resultados encontrados, la especial relevancia de los parámetros de sensibilidad al agua [2] y deformaciones plásticas en las mezclas fabricadas con esta tecnología y la necesidad de la obtención de datos de los tramos ejecutados con distintos materiales para ajustar los parámetros de valoración en laboratorio [3]. Al otro lado del mundo, cabe mencionar en este apartado el caso de la Main Roads Western Australia [4] que no permitía el uso de betunes espumados (sí aditivos tipo Sasobit) para mezclas semicalientes, hasta la elaboración de un estudio pormenorizado guiado por la administración (Clayton, 2015) [5] que recomendó finalmente el uso de promotores de la adhesividad o de hidróxido de calcio para minimizar los riesgos asociados a un mayor potencial de susceptibilidad al agua de este tipo de mezclas.

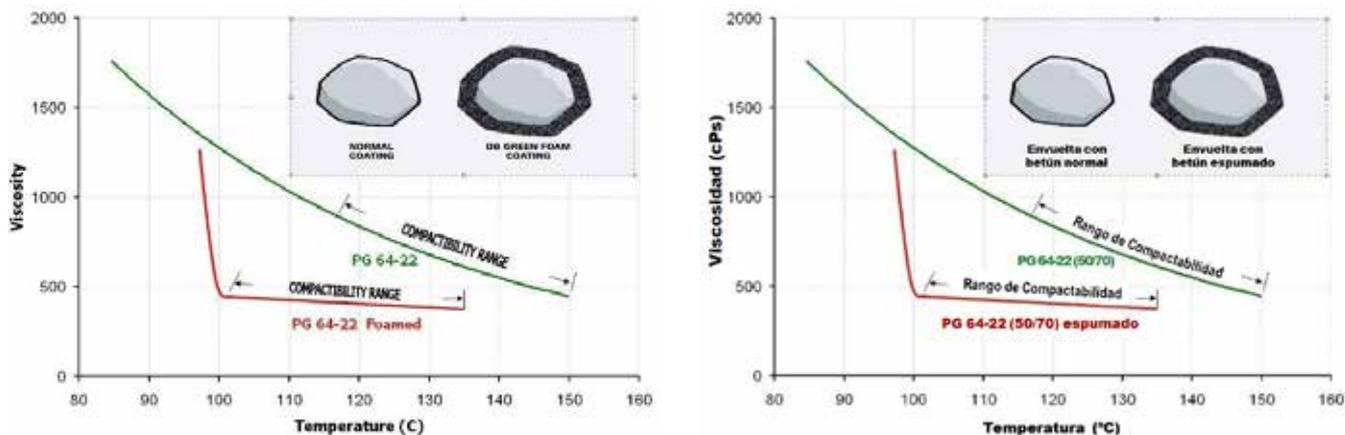


Figura 1. Esquema de la expansión de la burbuja de betún espumado y comparativa de viscosidad y capa de recubrimiento

3. Descripción de la técnica

3.1. Procesos desarrollados

Aunque el uso de la espuma de betún como alternativa al empleo de emulsiones para la fabricación de mezclas a temperatura ambiente y la ejecución de reciclados in situ era bien conocido, el empleo de betún espumado como medio para reducir la temperatura de fabricación de las mezclas asfálticas convencionales se desarrolló inicialmente en Francia, en la primera década del s. XXI, en respuesta a la preocupación por la protección del medio ambiente.

Esta tecnología de espumación de betún consiste en el empleo de pequeñas cantidades de agua que se evaporan al entrar en contacto con el betún caliente, quedando el vapor atrapado dentro de la matriz del betún. Este vapor provoca la expansión del betún y la disminución de su viscosidad, permitiendo una mejor envuelta y manejabilidad de la mezcla (Figura 1).

El betún espumado presenta una menor viscosidad y un mayor grosor de la capa que envuelve los áridos durante el proceso de mezclado, cambiando la reología de la mezcla bituminosa, lo que permite realizar el proceso de compactación a me-

nor temperatura, de 20 a 40°C inferior a las mezclas bituminosas en caliente.

A continuación, se enumeran y describen brevemente los principales procesos desarrollados [6].

3.1.1. Espumación indirecta

En este grupo se incluyen dos tecnologías. En la primera se emplean zeolitas sintéticas para producir una espumación indirecta del betún (ASPHA-MIN® de la empresa Eurovia). La zeolita es un producto en polvo compuesto de cristales de silicato de alúmina hidratado que, en presencia de los áridos a 150°C, libera su agua cristalina produciendo vapores y una expansión espumosa del betún caliente [7]. En la actualidad este proceso está en desuso principalmente debido al elevado coste de las zeolitas.

El segundo método para obtener una espumación indirecta es el que aprovecha la humedad natural presente en la arena para provocar la expansión del betún. Una parte del árido fino se introduce directamente en el mezclador sin haber pasado por el secadero de áridos. El vapor generado al contacto de esta arena húmeda con los áridos calientes y el betún, produce la espumación de este. Dentro de esta técnica existen dos variantes (proceso LEA de FAIR-

CO y proceso EBT de Eiffage), que se diferencian principalmente en el momento en el que se introduce la arena húmeda (antes o después de la inyección del betún) [8],[9],[10].

3.1.2. Espumación directa

En la bibliografía se pueden identificar varios sistemas mecánicos para conseguir la formación de la espuma con el betún; métodos como Mezclado mecánico, mezclado mediante Venturi, mediante cámara de expansión, molino coloidal o de cizalla, aire y agua atomizada y agua atomizada a alta presión.

Ejemplos de sistemas industriales para la generación de betún espumado son:

- Sistema ARGUMOUSSE desarrollado por ARGUMAT (CBS);
- Generador de espuma AMMANN, AMMANN FOAM;
- Sistema AQUABLACK de MARI-NI-ERMONT;
- Generador BITFOAM desarrollado por INTRAME.

Para poder evaluar la espuma generada durante este proceso se establecen diversas propiedades [11]:

- Estabilidad del betún espumado: tiempo que requiere la espu-

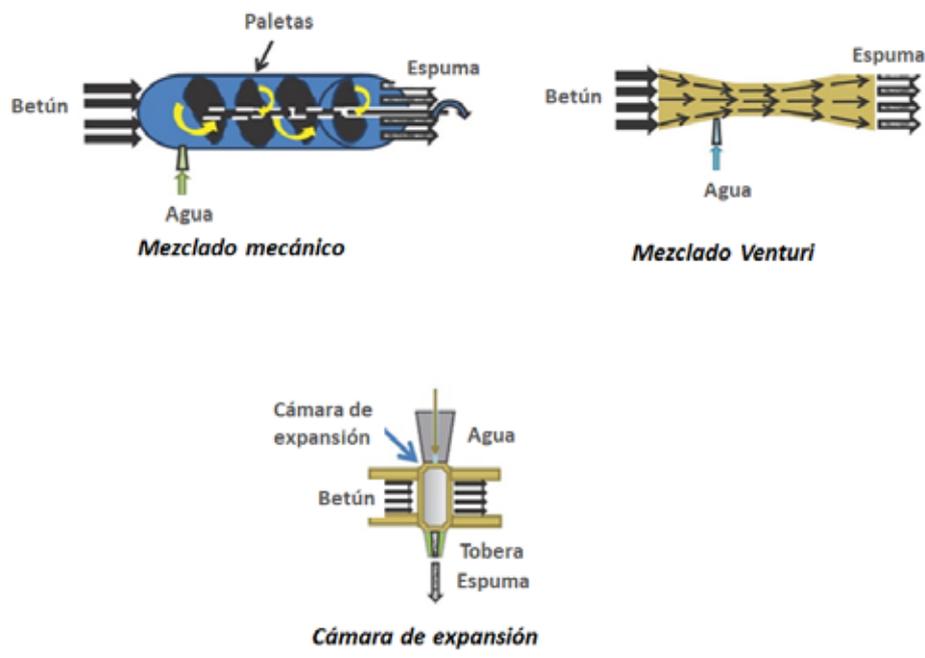


Figura 2. Distintos sistemas de espumación mecánica

ma para colapsar. Las burbujas formadas pueden mantener el equilibrio por pocos segundos: a medida que el betún se enfría, el vapor en las burbujas se condensa causando el colapso y la desintegración de la espuma. Por otra parte, cuando la presión de vapor en el interior de la burbuja es muy grande, la película de betún se expande más allá del límite de elongación, quebrándose antes de lograr el equilibrio.

- Razón de Expansión: relación entre el máximo volumen de espuma y el volumen del asfalto sin espumar.
- Vida Media: es el tiempo transcurrido, en segundos, desde el estado espumado hasta llegar a la mitad del máximo volumen obtenido.
- Índice de Espumación: se define como el área bajo la curva de la Razón de Expansión y Tiempo de Colapso.

A mayores temperaturas de espumado y mayor cantidad de agua, se incrementa la Razón de Expansión y a su vez disminuye la Vida Media, lo que obliga a llegar a una optimización (Figura 3). Bajas presiones de inyección afectan negativamente tanto a una como a otra, al igual que agentes anti espumantes presentes en el betún (siliconas). En general, se recomiendan Razones de Expansión comprendidas entre 8 y 15 y al menos 15 segundos de Vida Media. Mediante el empleo de aditivos se pueden obtener valores más elevados.

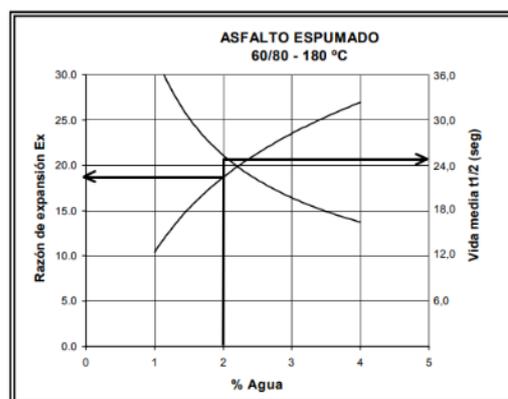
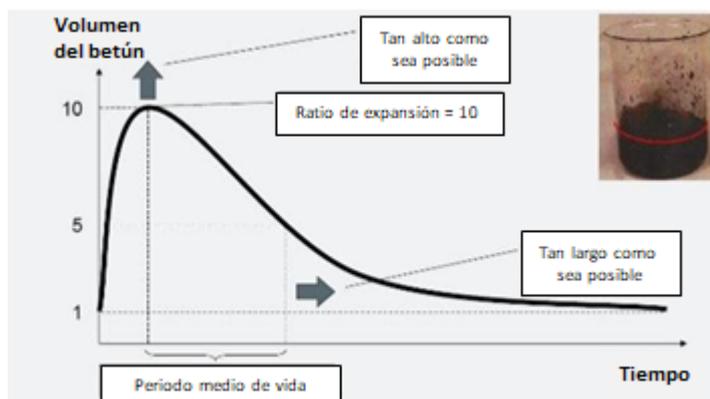


Figura 3. Curvas de comportamiento de la espuma de betún, con el tiempo y la temperatura

Atendiendo a la experiencia en el país pionero (Francia) en el empleo de la espumación de betún como técnica para la reducción de temperatura, la tendencia actual es la utilización del proceso de espumación directo, más sencillo en cuanto a la producción de la mezcla, renunciando a los otros procesos desarrollados de espumación indirecta.

3.2. Recomendaciones para el empleo de la técnica de espumación directa de betún

La experiencia adquirida sobre las mezclas con espuma de betún que se enumera a continuación se apoya en su mayoría sobre la guía técnica francesa “Bajada de temperatura de mezclas bituminosas. Estado del arte y recomendaciones”[12].

3.2.1. Producción

3.2.1.1. Control y ajuste del quemador

La producción de mezcla semicaliente necesita que los quemadores de los tambores-secadores funcionen en una gama de aplicaciones diferentes de las utilizadas para la producción de mezcla caliente. Por lo tanto, es necesario ajustar los quemadores a este nuevo rango de uso para optimizar los parámetros de combustión.

3.2.1.2. Tratamiento del vapor de agua

El uso de agua en la zona de mezcla provoca la liberación de vapor de agua al entrar en contacto con materiales calientes.

En el caso de las plantas discontinuas, la utilización de estos procesos requiere la adición de un

dispositivo de tratamiento de vapor de agua para evitar la condensación que podría generar problemas de corrosión y/u obstrucción.

Este dispositivo consiste principalmente en la adición de un conducto conectado al filtro de mangas de la instalación. Este conducto debe estar térmicamente aislado y tener una pendiente pronunciada para evitar problemas de condensación y/u obstrucción.

3.2.1.3. Impacto de la disminución de la temperatura en las emisiones

La disminución de la temperatura del aglomerado cambia la eficiencia térmica de los tambores-secadores. Este cambio resulta en una disminución de la temperatura de las emisiones a la salida del secador de tambor. Los filtros de mangas necesarios para filtrar los gases de secado, que están cargados de elementos finos (filler), deben funcionar con temperaturas de gas superiores a un umbral crítico (el punto de condensación) para evitar problemas de obstrucción por una mezcla de agua y finos y/o corrosión. Es importante asegurarse que la temperatura del gas no desciende de ese umbral crítico durante la fabricación de mezclas semicalientes. Una forma de evitar esto es con la adición de reciclado, lo que permite trabajar con temperaturas más altas en el secadero.

3.2.2. Formulación

La espumación del betún no cambia las fórmulas de mezclas. No obstante, en algunos países (por ejemplo, en Francia), se requiere el empleo de una planta de fabricación con betún espumado en laboratorio para realizar los estudios de formulación en las mismas condiciones de fabricación que en planta.

3.2.3. Puesta en obra

A raíz del seguimiento realizado por la Administración francesa en obras experimentales con aplicación de mezclas semicalientes con espuma, en la guía mencionada se concluye que este tipo de mezclas requieren más atención en la puesta en obra que las mezclas calientes, recomendándose un cierto número de puntos de vigilancia:

- Un tiempo de transporte y espera de más de una hora para las mezclas asfálticas desde la fabricación hasta la aplicación puede provocar defectos de adherencia entre capas o dificultades de compactación debido a una temperatura de aplicación demasiado baja y, por lo tanto, una pérdida de manejabilidad;
- El transporte de aglomerado a larga distancia mediante un camión sin aislamiento puede provocar también los defectos precedentes;
- El precalentamiento insuficiente de la regla de la extendidora puede dar lugar a defectos estéticos, especialmente en forma de arrastres;
- Los métodos de compactación deben adaptarse para obtener una buena macrotectura.

La realización del tramo de prueba es importante para ajustar la aplicación y evitar cualquier deriva.

3.2.4. Comportamiento

En general, el seguimiento realizado en Francia sobre obras experimentales ha mostrado un comportamiento similar con las mezclas calientes. Sin embargo, cabe señalar algunos problemas que surgieron en algunos de los tramos experimentales:

- Defectos de baja compactación y defectos de textura que provocó

Tipo de mezcla		Tipo de ligante		Naturaleza de árido	
Planta		Espumador tipo		Dispositivo muestreo	
Fresado si/no		Porcentaje fresado		Sistema fresado	
% Agua		Expansión		Tiempo de vida	

Ficha 1.

la paralización de los trabajos. Se culpó al tiempo que se tardó en transportar o el tiempo de espera de los camiones antes de comenzar la puesta en obra.

- Aparición más rápida de fisuras y mayor sensibilidad a la pérdida del ligante superficial en comparación con la mezcla caliente.

4. Protocolo de campaña de ensayos

Uno de los problemas que presenta esta tecnología de fabricación con espuma de betún son los trabajos realizados en los laboratorios de ensayo para el diseño y el control de calidad de las mezclas bituminosas a menor temperatura. Existen diferencias importantes entre los valores obtenidos en los ensayos realizados con los materiales recién fabricados o recalentados, así como la utilización de distintos procedimientos para la fabricación de probetas en el laboratorio.

También es necesario avanzar en establecer una correlación de los resultados obtenidos durante su fabricación con los que son obtenidos con el material colocado en la obra, ya sea en la determinación de las densidades como el control de propiedades mecánicas.

Por todo ello es importante definir un protocolo que permita fijar en cada fase del proceso los parámetros adecuados, con el objetivo de realizar los trabajos con mayor precisión y reducir la incertidumbre que se obtiene durante la realización de estos trabajos. La disponibilidad de estos datos permite analizar todos los resultados obtenidos con mayor precisión.

4.1. Datos iniciales.

Es importante conocer los materiales y la forma en que se manejan durante la fabricación de la mezcla en la planta, para así poder verificar la trazabilidad y establecer el procedimiento más adecuado. Estos datos son el tipo de mezcla a fabricar y de ligante o la naturaleza de los áridos,

además de indicar si se utiliza material fresado en la fabricación de la mezcla, así como el porcentaje empleado, fracciones y el sistema de incorporación del mismo a la mezcla.

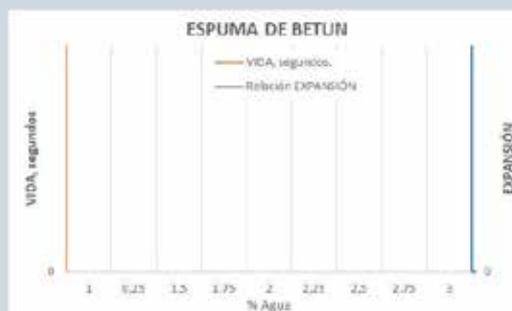
Otros datos de interés son el tipo y modelo de la planta de fabricación de mezcla y del espumador de la instalación, la cual debe contar con un dispositivo específico que permita realizar correctamente la toma de muestra de la espuma formada, siendo esto importante para regular la correcta fabricación y poder determinar el porcentaje de agua óptimo de fabricación a partir de los resultados del tiempo de vida y de la expansión de la espuma.

El registro de estos datos es: (ficha 1)

Definición expansión: relación entre el volumen máximo alcanzado por el betún en el estado espuma y el volumen del betún sin espumar

Definición tiempo de vida de la espuma: tiempo, en segundos, que tarda la espuma en sedimentarse hasta la mitad del volumen máximo obtenido

La representación en un gráfico de los valores obtenidos en las pruebas anteriores permitirá establecer el porcentaje de agua óptimo que se debe emplear para realizar el proceso de espumación del betún en la instalación.



4.2. Procedimiento.

4.2.1. Fabricación de la mezcla

En gran medida, el éxito de la técnica depende de la temperatura de los materiales constituyentes y tiempos de envuelta. Por ello es preciso realizar la verificación del correcto proceso en la planta de fabricación, mediante el registro de los tiempos de envuelta en húmedo árido+betún, la temperatura de todos los materiales previos al mezclado (áridos y ligante), y de la temperatura final y la humedad de la mezcla. (ficha 2)

4.2.2. Muestreo y acondicionamiento

Se debe seleccionar y registrar la zona donde se realiza la toma de muestra, si es en la planta de fabricación de la mezcla, en extendido o con la muestra fría (porción o testigo), así como el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y la fabricación de las probetas.

En muchos casos, los laboratorios no se encuentran a pie de planta por lo que es necesario realizar un proceso de acondicionamiento previo de las muestras a ensayar para así garantizar las mismas condiciones. En función de la temperatura inicial de la

mezcla a su entrada en el laboratorio, en el ensayo se siguen los siguientes criterios:

- Si la mezcla tiene una temperatura por encima de 100 °C, mantener la mezcla dentro de la estufa durante 30 minutos a la temperatura de fabricación.
- Si la mezcla tiene una temperatura entre 75 y 100 °C, mantener la mezcla dentro de la estufa durante 60 minutos a la temperatura de fabricación.
- Para una temperatura menor de 75 °C, mantener en estufa durante 90 minutos a la temperatura de fabricación. (ficha 3)

NOTA 1: Se puede tomar como valor de temperatura estándar de las mezclas con espuma de betún, 135 °C en fabricación.

NOTA 2: Para las mezclas que hayan sido acondicionadas o recalentadas una vez no pueden ser reutilizadas en las mismas condiciones de valores de menor temperatura.

Se efectúan los ensayos de composición para realizar el contenido de ligante por ignición o disolventes y la granulometría de los áridos. Para estos ensayos debe determinarse o

eliminar previamente el contenido de humedad de la mezcla.

4.2.3. Fabricación de las probetas.

Se pueden fabricar las probetas con los equipos de impacto o con la compactadora giratoria, aplicando la misma energía que para las mezclas convencionales.

Una vez fabricadas se mantienen en el molde entre 4 y 24 horas, procediendo posteriormente a desmoldarlas. Antes de determinar su densidad, se mantienen al aire a temperatura ambiente durante 24 horas para facilitar la pérdida de humedad residual.

Los ensayos se realizan siguiendo cada uno de los procedimientos normalizados.

IMPORTANTE: La evaluación de las propiedades de las mezclas fabricadas con espuma de betún debe realizarse evaluando los distintos parámetros, pero aplicando los mismos procedimientos y condiciones de ensayo utilizando mezclas fabricadas en las mismas instalaciones y con un ligante a las temperaturas convencionales de trabajo (p.e., no debe compararse la resistencia a tracción de probetas fabricadas con impacto con las probetas fabricadas con giratoria)

Temperatura áridos	Temperatura ligante	Temperatura mezcla
Tiempo envuelta	Humedad mezcla	

Ficha 2.

Muestra en fabricación	Muestra en extendido	Muestra material frío
Temperatura laboratorio	Tiempo acondicionamiento	Temperatura estufa

Ficha 3.

5. Resultados

Como apoyo a las labores del grupo de trabajo GT-7 de la Asociación Técnica de Carreteras sobre mezclas semicalientes fabricadas con espuma de betún, se han realizado por parte de los laboratorios de algunas de las empresas participantes, una serie de ensayos siguiendo los protocolos establecidos en el apartado anterior. El objetivo de estos ensayos era el de encontrar tendencias significativas en el comportamiento de las mezclas semicalientes fabricadas mediante la tecnología de espuma de betún, frente a los ensayos preceptivos establecidos en el PG-3 en su artículo 542 que evalúan, en la actualidad, la bondad del comportamiento de las mezclas en nuestras obras. La presencia o no de estas tendencias debería situarnos ante un escenario en el que poder evaluar si los ensayos y protocolos de actuación utilizados hasta la fecha en la validación de mezclas en caliente, son totalmente compatibles con la

evaluación de parámetros de mezclas semicalientes fabricadas con espuma de betún, manteniendo los niveles de prescripción descritos en el PG-3.

Uno de los documentos de referencia durante las sesiones del grupo de trabajo GT-7 ha sido el informe "NCHRP Report 763. Evaluation of the Moisture Susceptibility of WMA Technologies", de la Transportation Research Board estadounidense, donde se aborda la variabilidad encontrada para los parámetros de ensayos de sensibilidad al agua de mezclas semicalientes en función del tipo de técnica de fabricación, la naturaleza de las probetas de ensayo (fabricadas en laboratorio o en campo) y del acondicionamiento de las muestras antes de fabricar los especímenes de ensayo de las mismas. Tomando en consideración lo descrito con anterioridad y teniendo en cuenta las diferentes variables dentro del control de calidad que podemos encontrar de forma real en nuestras obras, se consensuaron una serie de protoco-

los encaminados a examinar las variaciones de parámetros clave para la validación de mezclas semicalientes con espuma de betún en torno a las densidades de los especímenes, su contenido en huecos y la resistencia a tracción indirecta (incluidos ratios ITSr). Así se han realizado 18 grupos de ensayo que incluyen resultados sobre una mezcla de referencia (generalmente AC16S) y sus variantes espumadas con y sin recalentamiento previo a la fabricación de probetas.

Este conjunto de ensayos no ha respondido a una estructura de ejercicio de intercomparación, pues lo que se ha perseguido no es tanto evaluar el sesgo de los métodos de ensayo (ya conocidos y explicitados en las normas correspondientes) como la constatación o no, a nivel de control de laboratorio, de la presencia de tendencias significativas en el comportamiento de las mezclas semicalientes fabricadas con espuma de betún con respecto a las mezclas calientes.

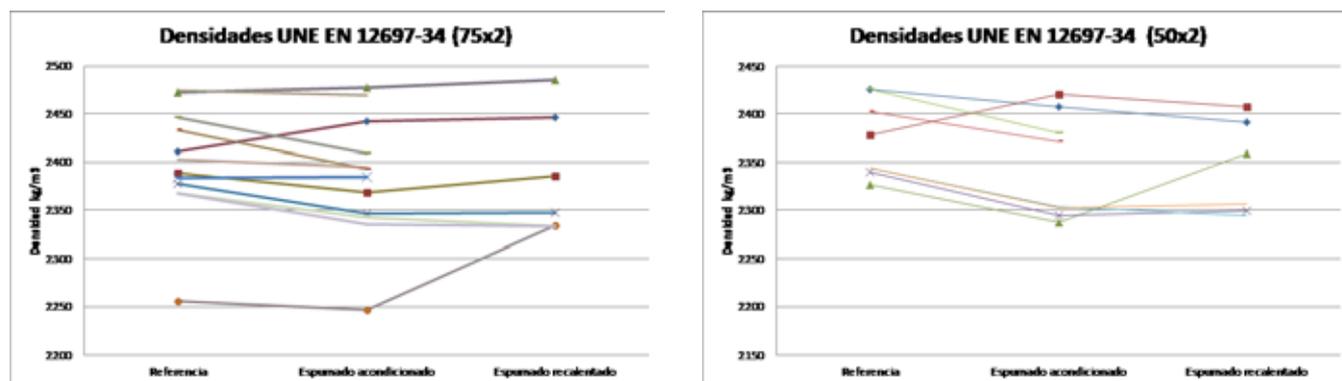


Figura 4. Densidades compactación Marshall

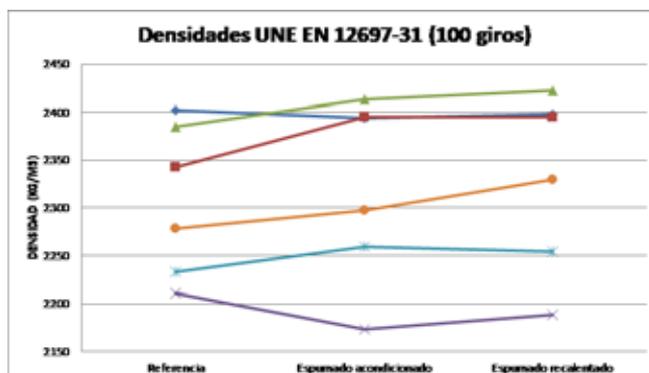


Figura 5. Densidades compactación giratoria

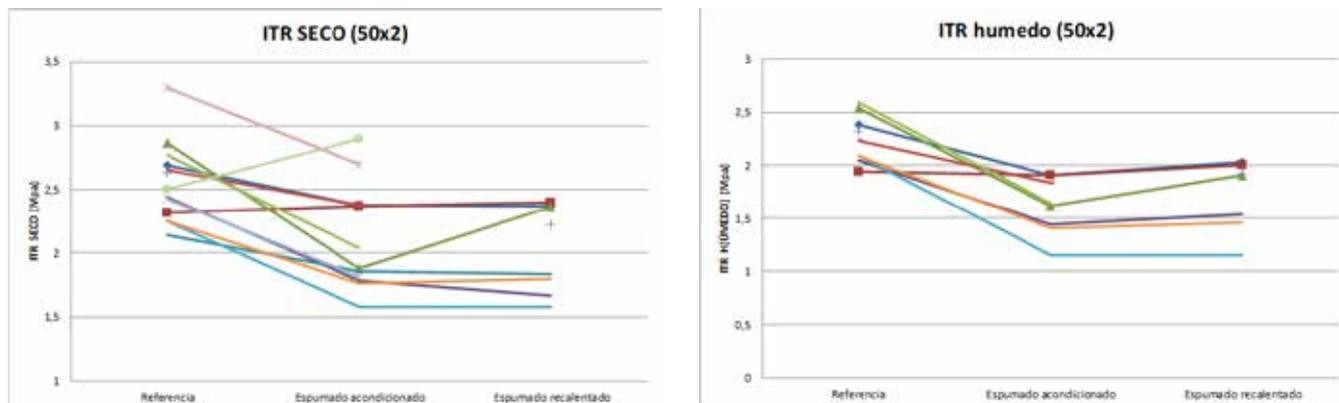


Figura 6.

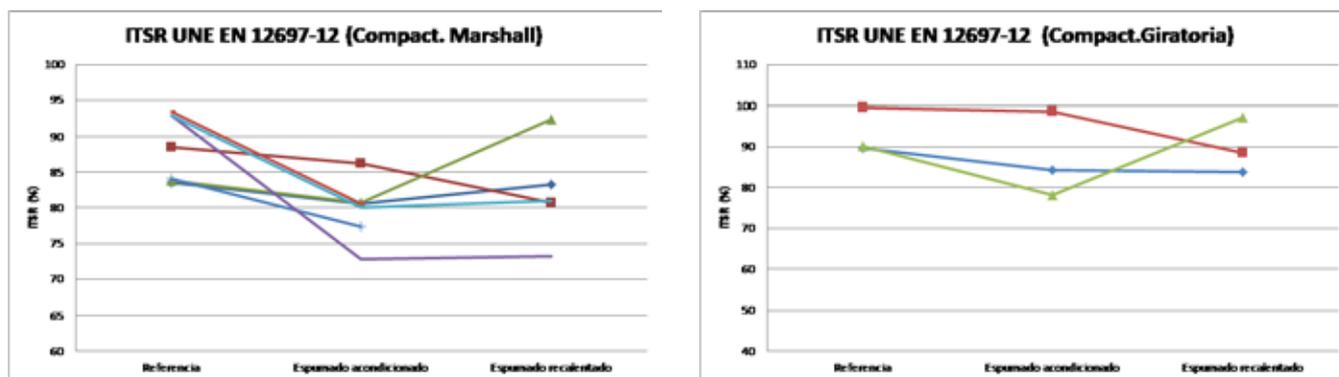


Figura 7.

Uno de los primeros parámetros que se ha pretendido evaluar ha sido la evolución de las densidades obtenidas para las mezclas de referencia (en caliente) y las mezclas semicalientes espumadas, con el fin de conocer si existe una tendencia a la disminución de la compactación en las condiciones marcadas en los protocolos. En los siguientes gráficos se representa dicha evolución en función del tipo de mezcla para compactaciones con compactador Marshall UNE EN 12697-34 (75 y 50 golpes por cara) y con compactador giratorio UNE EN 12697-31 (100 giros).

En ningún caso las tendencias parecen estar perfectamente definidas. No obstante, para el caso de las mezclas compactadas mediante la metodología Marshall se puede observar que una mayoría sufren una disminución de densidad con respecto al material de referencia para la condición de espumado acondicionado y una posterior estabilización (incluso rebote en algún caso) al tratar previamente la

muestra con el protocolo de recalentamiento. En el caso de la compactación giratoria, la tendencia parece invertirse, ya que una mayoría de experiencias evolucionan hacia una mejora de la compactación.

Para los ensayos de tracción indirecta UNE EN 12697-23 las tendencias encontradas se reflejan en los siguientes gráficos: (Figura 6)

De los gráficos obtenidos se puede inferir que, para el caso de compactaciones por impacto, existe un cierto paralelismo entre la tendencia mayoritaria en el comportamiento de las densidades y de los valores de tracción indirecta, como cabría esperar. Se obtienen, en líneas generales, valores menores de tracción indirecta respecto al patrón con las muestras espumadas acondicionadas y esta tendencia se mantiene, con algún ligero repunte, para las muestras espumadas recalentadas. Esto ocurre para el caso de probetas curadas en húmedo y en seco dentro del procedimiento del ensayo de sensi-

bilidad al agua UNE EN 12697-12.

En lo referente a la relación de tracciones indirectas (ITSR) en el ensayo de sensibilidad al agua, se han obtenido las siguientes tendencias experimentales. (Figura 7)

Se observa un descenso en los ratios de tracción indirecta, más acusados en el caso de las compactaciones por impacto y en algún caso mejoras al introducir recalentamiento en el tratamiento inicial de las muestras.

6. Conclusiones y futuras líneas

La tecnología de espuma de betún, ya sea directa o indirecta, supone una alternativa de reducción real del impacto ambiental para la fabricación de pavimentos para carreteras, en términos de consumo de energía y emisiones asociadas ya que las inversiones necesarias para adaptar las centrales de fabricación actuales a este proceso son asumibles a corto plazo.

Uno de los principales hándicaps que presenta esta tecnología de fabricación con espuma de betún para su total implementación a gran escala en nuestro país es la definición de los procesos de evaluación de los laboratorios de ensayo para el diseño y el control de calidad de las mezclas bituminosas a menor temperatura.

Existen diferencias importantes entre los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados con los materiales recién fabricados o recalentados, así como en la utilización de distintos procedimientos de compactación de probetas en el laboratorio recogidos en la normativa. Es por ello que parece de vital importancia el definir un protocolo que permita fijar en cada fase del proceso los parámetros adecuados, con el objetivo de realizar los trabajos con mayor precisión y reducir la incertidumbre.

También es necesario avanzar en establecer una correlación de los resultados obtenidos durante su fabricación con los que son obtenidos con el material colocado en la obra, ya sea en la determinación de las densidades como en el control de propiedades mecánicas.

De las experiencias realizadas, no parecen estar claramente definidas las tendencias de evolución de las densidades obtenidas para las mezclas de referencia (en caliente) y las mezclas semicalientes espumadas. No obstante, para el caso de las mezclas compactadas mediante la metodología Marshall se observa que una mayoría sufre una disminución de densidad con respecto al material de referencia para la condición de espumado acondicionado y una posterior estabilización al tratar previamente la muestra con el protocolo de recalentamiento.

Como cabría esperar, para el caso de compactaciones por impacto, existe un cierto paralelismo entre la tendencia mayoritaria en el comportamiento de las densidades y de los valores de

tracción indirecta y de sensibilidad al agua, es decir, se obtienen valores mejores respecto al patrón con las muestras espumadas acondicionadas.

Como conclusión general debemos apuntar a la necesidad de disponer de más experiencias, en condiciones normales de obra con un régimen estacionario de fabricación de mezclas semicalientes en planta, para la obtención de valores concluyentes a nivel de prestaciones mecánicas de las mezclas semicalientes.

Todo ello con el objeto de conocer el comportamiento real de la mezcla espumada en obra en cuanto a grado de compactación final, para así tratar de estandarizar un procedimiento de trabajo de laboratorio que sea representativo del comportamiento real. Esto dotará de robustez a los procesos de validación y sentará las bases sobre cual debe ser el estándar de ensayo para este tipo de mezclas espumadas, y si los valores exigidos deben ser los mismos que las mezclas en caliente para que representen el verdadero desempeño de la mezcla en servicio.

7. Referencias

- [1] Warm mix asphalt: European Practice. National Cooperative Highway Research Program (Federal Highway Administration. February 2008
- [2] Evaluation of the Moisture Susceptibility of WMA Technologies. NCHRP Report 763. National Cooperative Highway Research Program. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. 2014
- [3] Regional Implementation of Warm Mix Asphalt. Final Report 534. Southeast Transportation Consortium. University of Kentucky.2014
- [4] Development of specifications and technical guidelines for warm mix asphalt. PRP16018-Final Report.

Western Australian Road Research and Innovation Program. Nov. 2018

- [5] Clayton, R 2015, 'Introduction of warm mix asphalt into Western Australia', Australian Geomechanics, vol. 50, no. 1, pp. 121-9.
- [6] Onfield, J.N., Enrobé Tièdes : Pourquoi vont-ils se substituer aux enrobés à chaud?, in Route Actualité, n°178, septembre 2009, p.27
- [7] Hurley, Graham & Prowell, Brian & Huner, Mike. (2020). EVALUATION OF ASPHA-MIN® ZEOLITE FOR USE IN WARM MIX ASPHALT.
- [8] Romier, A & Martineau, Y. & David, J & Audeon, M. (2004). Procédé de fabrication d'un enrobé bitumineux (Institut National de la Propriété Intellectuelle – No FR2853919).
- [9] Romier, Alain & Audeon, Maurice & David, Jacques & Martineau, Yves & Olard, François. (2006). Low-Energy Asphalt with Performance of Hot-Mix Asphalt. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1962. 101-112. 0.1177/0361198106196200112.
- [10] Antoine, J.P. & Olard, F. & Huon, P. (2006). Procédé pour fabriquer un enrobé bitumineux (European Patent Office – No EP1717369).
- [11] Sitio internet de Route de France, « Bilan environnemental – Rapport annuel 2019 »: https://www.routesdefrance.com/wp-content/uploads/RDF-Bilan-environnemental-2019_v2020-07-24_BD.pdf
- [12] IDRRIM, Abaissement de température des mélanges bitumineux : Etat de l'art et recommandations, CEREMA, 2015, coll. "Références".
- [13] Lessueur, D., Clech, H., Brosseau A. et al., Foamed bitumens – Foamability and Foam Stability, in Road Materials and Pavement Design, Volume 5, N° 3/2004, p.277-302. ❖

Evaluación Ambiental de Estudios Informativos de Autovías (2/2)



Environmental Assessment of Informative Studies of Highways (2/2)

Norberto Díez González

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Revisado por el Comité Técnico de Planificación, Diseño y Tráfico Asociación Técnica de Carreteras.

Las actuaciones previstas en el Plan General de Carreteras 1984/1993 produjeron la transformación de la Red del Estado en muy breve plazo, mediante la construcción de autovías, en la mayoría de los casos, duplicando las calzadas de las principales carreteras.

Prácticamente coincidente con el desarrollo de esas primeras autovías se dictó el Real Decreto Legislativo 1302/1986 de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental, que obligaba a redactar un Estudio de Impacto Ambiental junto a los estudios informativos de nuevas actuaciones, de forma que ambos se sometieran a un proceso de Información Pública. Posteriormente el órgano medioambiental emitía una Declaración de Impacto Ambiental, requisito imprescindible para poder continuar con el proceso técnico de redacción de los proyectos de construcción. Esa primera norma ha dado paso a sucesivas leyes de Evaluación Ambiental (dictadas en los años 2001, 2003, 2006, 2008, 2013, 2018 y 2020) que sustituían total o parcialmente a las anteriores, mientras que las exigencias en el contenido

de los Estudios de Impacto Ambiental iban aumentando notablemente.

En numerosas ocasiones se ha sentido que los responsables de redactar las Declaraciones de Impacto Ambiental se pronunciaban considerando unilateralmente un problema complejo, sin tener en cuenta factores técnicos ni económicos y dictando normas a cumplir que la ingeniería no tenía la oportunidad de contrarrestar argumentando las dificultades técnicas o los sobrecostes excesivos de tales normas, ya que las DIAs eran prácticamente inapelables, y solamente a partir de 2013 se permitió (aunque solo en determinadas circunstancias) la modificación de su contenido.

En las páginas que siguen expongo mi opinión personal relativa por un lado a la legislación de evaluación ambiental y por otra a su aplicación concreta en diferentes declaraciones de impacto ambiental, en un escrito que consta de dos partes.

Este artículo corresponde a la primera parte con los comentarios sobre algunos aspectos de las leyes de Evaluación Ambiental.

The actions envisaged in the 1984/1993 General Highway Plan produced the transformation of the State Network in a very short time, through the construction of highways, in most cases, doubling the carriageways of the main highways.

Practically coinciding with the development of these first highways, Royal Legislative Decree 1302/1986 of June 28, on Environmental Impact Assessment, was issued, which required the preparation of an Environmental Impact Study together with the informative studies of new actions, so that both were submitted to a Public Information process. Subsequently, the environmental body issued an Environmental Impact Statement, an essential requirement to be able to continue with the technical process of drafting construction projects. This first norm has given way to successive Environmental Assessment laws (issued in 2001, 2003, 2006, 2008, 2013, 2018 and 2020) that totally or partially replaced the previous ones, while the requirements in the content of the Studies of Environmental Impact were increasing notably.

On numerous occasions, it has been felt that those responsible for drafting the Environmental Impact Statements were pronouncing themselves unilaterally considering a complex problem, without taking into account technical or economic factors and dictating standards to be complied with that engineering did not have the opportunity to counteract, arguing the technical difficulties. or the excessive cost overruns of such standards, since the EISs were practically unappealable, since only as of 2013 was it possible (although only in certain circumstances) to modify their content.

In the pages that follow, I present my personal opinion regarding environmental assessment legislation on the one hand and its specific application in different environmental impact statements, on the other, in a document consisting of two parts.

This article corresponds to the first part with comments on some aspects of the Environmental Assessment laws.

Segunda parte:

Análisis de algunas Declaraciones de Impacto Ambiental

1. Introducción

En primer lugar hay que señalar que los comentarios que siguen, se refieren a algunas Declaraciones de Impacto Ambiental exclusivamente de los estudios informativos de autovías, especialmente la realizadas en los últimos años del periodo que va desde la aparición de la primera norma de evaluación ambiental en 1986 hasta el principio de la crisis económica de la primera década de este siglo, que trajo como consecuencia la paralización de la mayoría de los estudios de nuevas autovías.

Los Estudios Informativos, según la ley de Carreteras son aquellos:

“en los que se definen y comparan, en líneas generales, diferentes alternativas de trazado, de conexión y de explotación de la actuación objeto de estudio, a efectos de que pueda servir de base al expediente de infor-

mación pública y, en su caso, al trámite de evaluación de impacto ambiental, con objeto de poder seleccionar la más adecuada”.

De esta definición cabe destacar que los trazados de las diferentes alternativas que se estudian se definen en **líneas generales**. Incluso en el Reglamento de Carreteras se especifica que esas líneas generales deben ser tanto **geográficas** como funcionales.

De acuerdo al citado Reglamento, el estudio informativo constará de memoria con sus anexos, y planos, que comprenderán:

- El objeto del estudio y exposición de las circunstancias que justifiquen la declaración de interés general de las carreteras y la concepción global de su trazado.
- La definición en líneas generales, tanto geográficas como funcionales, de todas las opciones de trazado estudiadas.

- El estudio de impacto ambiental de las diferentes opciones, en los casos en que sea preceptivo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental. En los restantes casos, un análisis ambiental de las alternativas y las correspondientes medidas correctoras y protectoras necesarias.
- El análisis de las ventajas, inconvenientes y costes de cada una de las opciones y su repercusión en los diversos aspectos del transporte y en la ordenación territorial y urbanística, teniendo en cuenta en los costes el de los terrenos, servicios y derechos afectados en cada caso, así como los costes ambientales y de siniestralidad.
- La selección de la opción más recomendable.

El nivel de detalle de los trazados de las alternativas queda fijado por la

escala 1/5.000 de la cartografía que se ha utilizado en la inmensa mayoría de los estudios informativos. En planta se pueden apreciar distancias no muy inferiores a los 5 metros y la precisión altimétrica está dada por curvas de nivel cada 5 metros.

Esa es la precisión y el nivel de detalle de los Estudios Informativos

Sin embargo de la lectura de varias declaraciones de impacto ambiental se deduce que sus redactores a veces no distinguen entre los contenidos correspondientes a cada fase de estudio y proyecto de una autovía. La dotación económica de un Estudio Informativo contratado por el Ministerio de Obras Públicas (ahora Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana) es del orden del 0.5% del coste de la totalidad de la autovía y su contenido es tan extenso que no puede definirse cada capítulo con gran detalle. Esa, tarea es propia de los proyectos de construcción donde el importe de los trabajos necesarios para su redacción es aproximadamente del 2% del coste de la autovía.

Esa diferencia en el coste de esos trabajos se corresponde con la diferencia de precisión exigida en cada caso.

2. Algunas prescripciones de las Declaraciones de Impacto Ambiental.

Duplicaciones de la carretera existente

Es muy frecuente que tanto algunas alegaciones de grupos ecologistas como prescripciones de la propia Declaración de Impacto Ambiental propongan la duplicación de toda o parte de la carretera en cuyo corredor se está estudiando una nueva autovía.

Como ejemplo, ARCA, la Asociación para la Defensa de los Recursos Naturales de Cantabria en su alegación en el proceso de información pública de Estudio Informativo de la Autovía Cantabria Meseta, proponía que entre Corrales de Buelna y Aguilar de Campoo “se realice un desdoblamiento y acondicionamiento de la actual carretera, quedando como carretera convencional desdoblada sin limitación de acceso a las propiedades colindantes”.

Cualquiera que haya circulado por la antigua N-111 en el desfiladero de las Hoces del Río Besaya, comprenderá sin ninguna explicación lo absurdo de tan propuesta en una zona estrecha donde conviven el río y la carretera serpenteando en paralelo y al otro lado a media ladera el ferrocarril Palencia-Santander hilvanando la ladera con continuos túneles y tramos a media ladera apoyados en muros.

Esa y otras muchas propuestas más se han formulado y no de grupos ecologistas sino del propio organismo ambiental, como es el caso del escrito de la Directora General de Calidad y Evaluación Ambiental de 23 de febrero de 2010 en relación a la Autovía A-81 Badajoz-Espiel en el que se dice:

“En el estudio remitido se recogen argumentos generales aplicables a cualquier carretera, según los cuales la duplicación de calzada en ningún caso sería una opción a considerar. Las características del territorio en el que discurre la carretera: terreno predominantemente llano (los parámetros de trazado de la carretera N-432, permiten en muchas zonas la duplicación) y entorno rural (no es necesaria una vía de servicio asfaltada en la mayor parte del trazado) así como el nivel de tráfico previsto para la autovía, hacen especial-

mente aconsejable la alternativa de duplicación, alternativa que se ve reforzada al atravesar zonas protegidas o en sus proximidades”

Al no considerar válidos los argumentos generales aplicables a cualquier carretera el Órgano Ambiental obligó a presentar unos planos detallados para justificar que aquellos criterios generales también eran de aplicación para el caso en estudio.

Es cierto que las primeras autovías se realizaron mediante la utilización de la carretera nacional como una de las calzadas. Ello supuso que en un corto espacio de tiempo y con una inversión reducida se consiguiera duplicar el número de carriles y separar físicamente los sentidos de circulación, ganando, en seguridad y disminuyendo los tiempos de recorrido de las principales carreteras radiales. Sin duda alguna un gran acierto para aquel momento.

Pero la experiencia adquirida en las numerosas actuaciones posteriores han puesto de manifiesto los enormes inconvenientes de esa solución, los problemas causados a las propiedades colindantes, a la permeabilidad transversal, a la accesibilidad desde los caminos agrícolas, la proliferación de enlaces a veces excesivamente próximos y a la imposibilidad de segregar el movimiento de vehículos incompatibles, ya que al desaparecer la carretera, los peatones, bicicletas, ciclomotores, tractores agrícolas y hasta carros tirados por animales, están obligados a circular por la autovía coincidiendo con los vehículos ligeros y los camiones. En muchos casos se ha hecho necesario reponer total o parcialmente la carretera que se había convertido en calzada de autovía.

Uno de los inconvenientes de duplicar las carreteras existentes es el paso de éstas por los pueblos. En esos casos hay que hacer una auto-



vía de nuevo trazado, que bordea el casco urbano cortando todos los caminos y carreteras que acceden a él. En numerosos casos eso ha obligado a disponer tres enlaces de acceso a pueblos que apenas general tráfico, dos en los extremos y uno en el centro.

Por todos esos y otros muchos inconvenientes de los que ha sido consciente la ingeniería de carreteras a lo largo de estos años, las últimas autovías son independientes de la carretera primitiva. Incluso se han hecho costosas actuaciones de transformación y mejora de las autovías de primera generación.

A veces se ha duplicado una nueva carretera que se proyectó y construyó con un buen trazado y pensada precisamente como primera calzada de la futura autovía. Así ha ocurrido, por ejemplo, en la Autovía de la Plata, A-66 desde Guijuelo hasta el límite de las provincias de Salamanca y Cáceres y el resultado es una autovía limitada a 100 km/h porque el trazado de la variante pese a haberse hecho hace pocos años, no cumple las condiciones que actualmente se exigen en la nueva Norma de Trazado para una velocidad de 120 km/h. La apariencia es la misma que el resto de la autovía y el conductor no se explica el motivo de esa limitación.

Algo parecido ocurre cuando se exige llevar la autovía lo más próxima posible a la carretera. El trazado, el drenaje, las conexiones (en una son intersecciones y en la otra enlaces) son completamente diferentes. En la carretera es obligado disponer tramos en los que sea posible adelantar, lo que se consigue preferentemente con alineaciones rectas, mientras que las alineaciones rectas en la autovía facilitan el cansancio y el deslumbramiento y su utilización está limitada a casos excepcionales. En alzado la carretera apenas debe elevarse lo suficiente para que el paquete del firme esté sobre el terreno circundante, mientras que en la autovía el desagüe transversal de la cuneta de mediana obliga a llevar la rasante al menos un par de metros sobre el nivel del terreno.

El drenaje para arroyos o vaguadas que primero pasan bajo la autovía, se proyecta con unas condiciones mínimas exigidas por la Norma vigente (de al menos 1,8 m de diámetro) y continuación se enfrentan a una obra de drenaje existente en la carretera a duplicar, de una sección mucho menor.

Además se complican enormemente las conexiones con la carretera de otras carreteras secundarias, o de caminos agrícolas que están al lado de la autovía.

Puede ser conveniente acercar la autovía a la carretera en tramos concretos pero hacerlo sistemáticamente o en tramos de mucha longitud es un error.

Algunas condiciones impuestas por las Declaraciones de Impacto Ambiental son decisiones o propuestas o exigencias de quienes pensando solo en el factor medioambiental y sin tener constatado mediante los oportunos estudios, que esas propuestas son favorables al medio ambiente, ocasionan inconvenientes a la hora de desarrollar el proyecto que tiene como consecuencia una infraestructura menos segura, más cara y de peor calidad.

Movimiento de Tierras, préstamos y vertederos

Entre la información a facilitar en el Estudio Informativo, el Órgano Ambiental exige el volumen de movimiento de tierras que se va a producir y dónde se prevén los préstamos y vertederos.

Los trazados de las alternativas se realizan desde hace unos treinta años, por medio de programas informáticos que proporcionan esas dos cifras, el volumen de "terraplén" y de "desmonte". Incluir esas cifras en el estudio no supone ningún esfuerzo.

Pero son datos completamente irreales que en modo alguno reflejarán los volúmenes que realmente se producirán en la construcción de la auto-vía. Y en el proyecto de construcción esos dos conceptos teóricos hay que desglosarlos en otros más reales, como desmonte en tierra vegetal, en suelo, en roca o en terreno de tránsito, y terraplenes, pedraplenes, rellenos localizados, etc., cada uno con un tratamiento específico.

La autovía objeto de estudio informativo, normalmente de gran longitud, se divide en tramos de un par de decenas de kilómetros para redactar los correspondientes proyectos de construcción, cada uno de ellos independiente de los demás en cuanto al movimiento de tierras, ya que legalmente no es posible concatenarlos (no se puede vincular la marcha de un contrato a la buena marcha de otro), de forma que las tierras que pudieran sobrarle a uno se utilizasen en otro que fuera deficitario de ellas.

Pero los volúmenes de tierras no son un dato geométrico inmediato. En primer lugar hay que caracterizar geotécnicamente, con los oportunos ensayos de laboratorio, las tierras procedentes de la excavación del tronco, enlaces y variantes de carreteras para su posible uso en los diferentes capítulos del proyecto (terraplenes, pedraplenes, rellenos localizados, capas inferiores del firme, etc.) y por otro lado, si se prevé que sean necesarios aportes exteriores a la traza, se deberán hacer sondeos y ensayos en diferentes lugares para ser utilizados como préstamos. A la vez, los sondeos en las zonas de desmonte darán la información necesaria para proyectar el talud más adecuado lo que influirá, a su vez, en el volumen de tierras.

Al proyectista le queda una baza que es el “diálogo” entre quien diseña planta y del alzado y el resultado de los estudios geotécnicos para



ver dónde conviene desplazar el eje para hacer menos desmonte o subir y bajar la rasante para optimizar el movimiento de tierras, es decir para conseguir minimizar los volúmenes de tierras procedentes de préstamos y que haya que enviar a vertedero.

Es imposible que los volúmenes de movimiento de tierras dados en un estudio informativo coincidan mínimamente con la suma de los volúmenes de los proyectos de construcción.

Es curioso que en un estudio informativo se han facilitado:

“los movimientos de tierra previstos para la alternativa seleccionada, que se resumen en la siguiente tabla:

Superficie de ocupación (m²):
1.574.335.

Desmonte tierra vegetal (m³):
757.481.

Desmonte suelo (m³):
2.726.327.

Desmonte roca (m³):
3.347.840.

Terraplén (m³):
6.464.887.”

También se exige la ubicación de préstamos y vertederos, pero sin conocer la división de todo el itinerario

en tramos para ser objeto de posteriores proyectos de construcción, ni los excesos o carencias de tierras en cada uno de ellos, ubicar en este momento los lugares para préstamos o vertederos es inútil. Por cierto que las antiguas canteras abandonadas pueden resolver alguno de los casos de vertedero aunque la experiencia dice que no es una solución práctica.

Por otro lado las canteras en activo no son fuente de abastecimiento de tierras para rellenos, ya que hay en primer lugar hay que excluir las canteras de piedras ornamentales (granitos, mármoles, etc.) y del resto de canteras de áridos los materiales allí extraídos tienen otros destinos, como los hormigones o las capas del firme. Los mayores volúmenes que se producen en una obra corresponden a los suelos de préstamo y a los vertederos para los materiales excavados que no se han podido utilizar en la obra.

Muchas de estas peticiones incongruentes tiene su origen en la osadía de algunos funcionarios de medio ambiente que desconociendo la técnica especializada de proyectar una carretera se atreven a imponer condiciones imposibles de cumplir. El ejemplo del movimiento de tierras no es el único.



Taludes y anchos de mediana y rasante de la autovía

Los taludes más frecuentes de rellenos tipo terraplén en los proyectos de autovías son el 3H: 2V y, si se trata de materiales menos competentes el 2H: 1V. Sin embargo, el cálculo de cada uno de los taludes de desmonte es algo más complicado ya que precisa de un sondeo, y un estudio geológico y geotécnico específico en cada uno de los desmontes importantes y varía muchísimo en función del terreno a excavar, de la disposición de los estratos de algunos tipos de roca, de la posibilidad de desprendimientos, de la altura del desmonte, de la posibilidad de disponer bermas intermedias, etc. Para el autor del proyecto es muy importante la revegetación de esos taludes, pero por razones de seguridad es mucho más importante su estabilidad. Sin embargo en muchas Declaraciones de Impacto Ambiental se incluye el siguiente texto:

“La morfología resultante para taludes de desmonte y terraplén será preferentemente, y siempre que sea técnicamente viable, mayores o iguales a 3H: 2V, de modo que sea posible su revegetación”.

Es sin duda una simplificación peligrosa a la que cualquier ingeniero sensato no puede atender. Si los desmontes, por ejemplo en roca sana, se proyectan “mayores o iguales a 3H: 2V” se produciría un sobre coste de la excavación inaceptable.

Reducir el ancho de mediana hasta el ancho estricto de 2 metros contemplado en la Instrucción de Carreteras, es otra de las prescripciones recurrentes. Sin tener en cuenta la disminución de seguridad ante un accidente en que un vehículo invada la calzada contraria, que así se hipoteca la futura ampliación a tres carriles, la dificultad de disponer pilas de pasos superiores, etc. Y todo a cambio de un beneficio no cuantificado sobre el medioambiente al disminuir en unos metros el ancho de la ocupación.

En cuanto a la modificación de la rasante, que en muchas declaraciones de Impacto se prescriben para reducir la altura de un desmonte concreto, hay que insistir en que tanto la planta como el alzado de las alternativas de un estudio informativo están trazadas sobre una cartografía 1/5.000 y no tienen mayor misión que servir de base al proceso de información pública y a su evaluación medioambiental pero que no son la geometría definitiva de la autovía.

En cada uno de los proyectos de construcción que se redacten después de aprobado definitivamente el Estudio Informativo, y en función de la información que proporcionen los estudios geológicos y geotécnicos el autor del trazado buscará por todos los medios optimizar el movimiento de tierras, por supuesto cumpliendo la Norma de Trazado, disminuyendo en lo posible los desmontes y terraplenes más elevados. No es cuestión de rebajar un caso concreto, sino de obtener una geometría óptima, desde todos los puntos de vista, de la totalidad del tramo.

En la declaración de impacto ambiental del estudio informativo de la autovía de Pontevedra a la A-52 se propone lo siguiente:

“Debido al gran volumen de tierras sobrantes, con el fin de disminuir el volumen de los futuros vertederos, así como la ocupación de suelos y el impacto paisajístico causado por la gran altura de los taludes de desmonte, se tomarán las siguientes medidas:

Dado que en la mayor parte del recorrido la traza discurre a media ladera con bastante pendiente transversal, se proyectarán, allí donde sea posible, las calzadas con cotas de rasante diferentes, integrando cada una de ellas en la ladera, lo que hará disminuir el movimiento de tierras, en general, y los desmontes en particular.”

De nuevo el órgano ambiental, partiendo de un dato ficticio (“gran volumen de tierras sobrantes”) propone una solución técnica de trazado extralimitándose de su función, que desde luego no es decirle al futuro autor del proyecto de construcción como debe conseguir optimizar el movimiento de tierras. La separación de rasantes no es una solución inmediata. Puede implicar el tener que hacer dos trazados en planta diferentes para cada una de las dos calzadas,

es obligado separarlas lo suficiente para que los taludes de una no afecten a la otra, que no sean necesarios los siempre indeseables muros y es posible que haya que dejar construidos los ensanches necesarios para no hipotecar la futura ampliación de carriles.

En definitiva, en muchas ocasiones el órgano ambiental se extralimita en su papel y prescribe soluciones ingenieriles que solo le corresponde adoptar al futuro autor del proyecto de construcción con el acuerdo del equipo de Supervisión Dinámica de los proyectos a cargo de un equipo del Ministerio, independiente del equipo redactor.

El drenaje transversal y los pasos de fauna

Sorprende la coincidencia de numerosas declaraciones de impacto ambiental en las que se prescribe la sustitución de obras de drenaje transversal de 1,80 m de diámetro por pasos de fauna, de 7 metros de ancho y 3,50 metros de altura o bien de 12 metros de ancho por 4 de altura.

La dimensión mínima de las obras de drenaje transversal según la Norma de Drenaje es función de la longitud de la propia obra y en el caso de las autovías es, efectivamente, de 1,80 m, tamaño adecuado para facilitar las labores de limpieza y conservación y, desde luego, suficientes para permitir el paso de animales de cierto tamaño.

En una declaración de impacto ambiental se prescribe sustituir el marco previsto de 3x2 metros por otro de nada menos que de 15x4 metros "para mejorar la permeabilidad para la fauna". En otra se dice que,

"donde el trazado aprovecha las actuales variantes de San Esteban de Gormaz y de Langa de

Duero, los drenajes de la nueva vía darán continuidad a los existentes en la carretera actual. Además, y en el caso de que la ejecución de la autovía supusiera la modificación de los drenajes actuales, estos se sustituirán por marcos de 7x4 metros de sección, a modo de pasos de fauna".

Cuando se aprovecha la carretera como calzada de autovía se puede dar el caso de que el caudal a desaguar por la obra de drenaje atraviesa primero un tubo de 1.80 (es que es obligado para la nueva calzada de la autovía) pero a continuación pasa a un tubo de menor sección, la de la carretera a duplicar. Para igualarlos se hace necesario, en el mejor de los casos, romper la calzada de esa carretera, y en el peor levantar la rasante para acoger el nuevo tubo, lo que no deja de ser un importante sobrecoste y mucho más cuando un tubo existente se pretende sustituir por un cajón de 7x4 m. Teóricamente se aumenta la permeabilidad transversal para la fauna, pero lo que no está justificada es la necesidad de sobrecargar tan arbitrariamente el coste del capítulo de drenaje.

Es obligado, y razonable, construir pasos de fauna de las dimensiones que sean necesarias, en los sitios donde sean precisas, pero aumentar las dimensiones de las obras de drenaje transversal para "mejorar la permeabilidad para la fauna" no es una decisión asumible para los ingenieros de obras civiles, que debe tener como uno de sus objetivos fundamentales optimizar el coste de todo aquello que proyecta, y que paga el contribuyente.

En las carreteras que atraviesan zonas con abundancia de fauna silvestre es frecuente el atropello de animales. En esos tramos es habitual que se haya previsto la autovía muy próxima a la carretera y en algunas

declaraciones de impacto ambiental se afirma que la nueva autovía empeorará la situación actual, como en la del estudio informativo de la autovía A-15 de Soria a Tudela en la que se afirma que:

"El proyecto de autovía incrementará los efectos actuales, ocupando nuevos espacios y, además se interpondrá una nueva barrera que se sumará a las carreteras actuales"

Las autovías no empeoran la situación respecto a los atropellos sino todo lo contrario. La fauna cruzará la autovía por los pasos específicos creados al efecto, sin posibilidad de sufrir daño y aunque se mantiene la carretera, en ésta el número de vehículos desciende enormemente y, por lo tanto también desciende el número de accidentes y sus consecuencias, a veces mortales, tanto para los ocupantes de los vehículos como para los animales atropellados.

En otra declaración de impacto ambiental de esta misma autovía pero del tramo Medinaceli-Soria se dice textualmente que:

"la reducción del tráfico en la N-111 por la puesta en servicio de la autovía no solventaría los problemas de colisiones con la fauna, ya que el escaso tráfico llevaría aparejado también un aumento de la frecuencia de cruces de la fauna".

En todos los casos en que se ha construido una autovía manteniendo la carretera, el tráfico en ésta disminuye enormemente, salvo si se trata (que ni mucho menos es este caso) de una zona densamente poblada donde la carrera es utilizada para los tráficos de corto recorrido entre pueblitos contiguos. Es evidente que si disminuye el número de vehículos las posibilidades de atropello también disminuirán. Según datos de tráfico de la Dirección General de Carrete-



ras, la intensidad media diaria de la carretera N-111 al sur de Almazán, en el año 2018, es de 103 vehículos/día que supone que en la hora más cargada podrían circular unos 10 vehículos, es decir, uno cada 6 minutos. Y en las horas menos cargadas, en las que se producirán los mayores movimientos de fauna, el muy probable que no circule ningún vehículo.

En esa última declaración de impacto se propone que entre los puntos kilométricos 43,5 y 60 (aproximadamente entre Fuentelcarro y Lubia):

“Todos los pasos de fauna construidos para la autovía...deberán cruzar también la N-111 o vía de servicio asfaltada. Si los pasos previstos fueran inferiores, se deberá elevar la rasante de la actual carretera de forma puntual para permitir su construcción con unas dimensiones adecuadas.

Si se mantiene la N-111 o una vía de servicio asfaltada, deberán adoptarse medidas de diseño (aparte de la señalización) para limitar la velocidad de circulación.

Toda la margen de la N-111, o vía de servicio asfaltada, del lado opuesto al de la autovía deberá estar vallada, cumpliendo lo especificado en la condi-

ción de forma que se dirija la fauna hacia los pasos habilitados.

Únicamente existirá vía de servicio, carretera o camino por una de las márgenes de la autovía, habilitándose los pasos que sean precisos para conectar ambas márgenes”.

El mantenimiento de una carretera, vía de servicio asfaltada o no, en una zona de denso pinar, como es el caso del existente entre Fuentelcarro y Lubia, no está justificado por razones de tráfico, ya que los movimientos entre esos dos pueblos se pueden hacer por la autovía y no existen caminos agrícolas ni acceso a fincas particulares, sino que los caminos de servicio a uno u otro lado de la autovía deberían ser de servicio al propio pinar. Parece razonable que se suprima la carretera N-111 en ese tramo, porque realmente no sería necesaria, pero lo que no es razonable es que si se asfalta el camino forestal (como se hace en muchos caminos de servicio del norte de España, no para ir más rápido, sino para evitar zonas de difícil tránsito en época lluviosa), literalmente se podría considerar vía de servicio asfaltada y tendría que acondicionarse su rasante para acoger los mismos pasos de fauna de la autovía, adoptarse medidas de re-

ducción de la velocidad, dotarla de vallado, etc. Tampoco se pueden hacer caminos por los dos lados.

Evidentemente la declaración de impacto ambiental no tuvo en cuenta que esos caminos, aunque apenas transitados, pudieran ser imprescindibles para los vehículos de bomberos en caso de incendio. También en esa misma declaración de impacto se prescribe que:

“en todos los caminos o ramales de enlace que pudieran permitir el acceso de los animales a la calzada de la autovía o a la N-111 o vía de servicio asfaltada se colocarán pasos canadienses de suficiente longitud como para impedir el acceso de ungulados.”

Para que el paso canadiense sea efectivo, la valla de cerramiento de la autovía debe llevarse hasta los laterales de mismo, y extenderlo hasta los arcones, en su caso, a fin de evitar que los ungulados pasen por la cuneta o los taludes. Y, por otro lado, no se especifica que el diseño del foso del paso debe hacerse de forma que no se convierta en una trampa mortal para los pequeños animales que pudieran caer entre los rodillos y lagartos culebras, sapos, topes, etc. puedan escapar.

Viaductos y la vegetación de ribera

En prácticamente todas las declaraciones de impacto ambiental que he tenido la ocasión de estudiar se dispone que las pilas y estribos de los puentes y viaductos sobre arroyos y ríos, se sitúen a una distancia de 5 ó 10 metros de la vegetación de ribera para minimizar su afección. Si en esa vegetación de ribera abundan los arbustos, la pequeña dimensión de una pila no es una invasión importante y seguramente sus alrededores serán revegetados en poco tiempo cubriendo la huella que hubiera dejado la excavación de la cimentación.

Pero si se trata de arbolado la pregunta es si esos árboles que se han salvado alejando de ellos 5 metros las pilas y los estribos sobrevivirán debajo de los tableros de los puentes. Aumentar las longitudes de los vanos y la superficie total de las estructuras para evitar la afección de un arbolado que no va a sobrevivir bajo el tablero, parece a todas luces un sobrecoste injustificado e inútil. Alargar 5 metros un viaducto implica un coste de unos 100.000 y en muchas declaraciones de impacto ambiental se ha prescrito aumentar enormemente la longitud de los puentes y viaductos sin otra justificación que la opinión del funcionario, que desconoce la repercusión económica de una decisión que apenas produce beneficio medioambiental.

Por el contrario prescribir que no se afecte a la vegetación de ribera más que en la superficie de ocupación del viaducto es muy razonable. Y también que el proyectista intente encontrar el sitio de paso en el que, a igualdad de otras condiciones, haya un hueco libre de arbolado o la vegetación de ribera sea menos densa.



Los murciélagos

Hay un caso curioso en el que se pone de manifiesto que es un grave error considerar solamente un aspecto del problema, el de la fauna en este caso, y prescribir actuaciones absurdas pero de un enorme coste económico. Se trata de la declaración de impacto ambiental de 15 de febrero de 2000, sobre el proyecto de trazado de la Autovía N-632, tramo: Grases (Villaviciosa)-Infanzón (Gijón). El trazado cruza el río España mediante un viaducto de unos 700 metros de longitud, situado a una altura del orden de los 100 metros sobre el cauce (se citan alturas de pilas de 96,93 metros). Abajo, junto al río está la cueva del Lloviu distante más de 100 metros de la vertical del tablero. Entre las prescripciones de la declaración de impacto ambiental figura la siguiente:

*“Además de las anteriores medidas establecidas por el Principado de Asturias, y considerando las importantes poblaciones de quirópteros de la Cueva del Lloviu, en especial del murciélago de cueva («*Miniopterus schreibersii*»), se estudiará la conveniencia de colocar,*

en todo el recorrido del viaducto del río España, pantallas opacas en ambos márgenes para limitar la incidencia de los faros de los vehículos y con ello la posible atracción de los murciélagos hacia la carretera en busca de alimento.”

La escena que se trata de evitar (con unos 3000 m² de pantallas opacas) es la siguiente:

Un coche circula por la noche a 120 km/h. Un mosquito ve la luz de los faros y la persigue, por supuesto superando la velocidad del coche. Un murciélago percibe la maniobra del mosquito y se lanza en su persecución a mayor velocidad que el mosquito. El coche atropella al murciélago.

Parece una broma pero se puede leer en la página 7927 del BOE número 45 del martes 22 de febrero del año 2000.

Afecciones a zonas de especial protección para las aves ZEPAs

El Estudio Informativo de Bada-joz-Espiel se redactó entre diciembre de 2005 y diciembre de 2007, y se



sometió a información pública el 29 de enero de 2008. En las inmediaciones de Llerena, durante la fase A del estudio, a escala 1/50.000, se consideraron diferentes corredores para la futura autovía y se decidió desechar los corredores al norte de la localidad ya que las alternativas que en ellos se trazasen afectarían en una gran longitud a la Zepa "Campaña Sur-Embalse de Arroyo Conejo" un espacio de casi 45.000 has. En la fase B posterior, ya con cartografía más detallada a escala 1/5000, se trazaron alternativas por el sur bordeando Llerena sin afectar al suelo calificado como urbanizable, sin afectar a ninguna de las numerosas y a veces lujosas viviendas aisladas y rozando la falda del Cerro Ventoso. El estudio de impacto ambiental no había detectado ningún inconveniente a esta alternativa ni afección mínimamente destacable.

En el proceso de información pública, varias de las alegaciones recibidas, entre otras las de los tres grupos políticos del ayuntamiento de Llerena, se pronunciaron a favor de que la autovía pase al norte de la localidad. Para despejar dudas la Demarcación de Carreteras del Estado en Extremadura solicitó a la Direc-

ción General de Evaluación y Calidad Ambiental de la Junta de Extremadura un informe sobre la viabilidad de una posible alternativa por el norte. Sorprendentemente, la respuesta (de 11 de septiembre de 2008) afirmaba que:

"la alternativa norte daría lugar a un menor impacto ambiental que la alternativa sur".

A ello hay que añadir un informe de la Dirección General del Medio Natural de la Junta de Extremadura de 7 de agosto de 2009 en el que se dice que:

"la alternativa sur debe ser descartada, por causar impactos ambientales severos de difícil corrección", afirmando que "la alternativa norte, que aunque cruza la Zona de Especial Protección para Aves, causaría una menor afección a valores ambientales".

En ningún momento se especifica ni se da ningún indicio sobre el tipo de "impactos ambientales severos de difícil corrección" que según esa Dirección General se producían. Por el contrario, ninguna alternativa norte podría ser ambientalmente viable, porque no cumplen ninguna de

las condiciones exigidas para poder afectar a un terreno protegido de la Red Natura 2000, al existir otras alternativas propuestas por el promotor que no afectan a la ZEPA.

La siguiente sorpresa vino de la propia Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, al exigir (el 23 de febrero del 2010) la redacción de un estudio complementario de impacto ambiental en la zona de Llerena, trazando nuevas alternativas por el norte-atravesando la ZEPA-, considerando, además, la alternativa de duplicar la carretera actual. Por otro lado, se pide también la realización de estudios que son propios de una fase posterior, como el proyecto de trazado o el proyecto de construcción, tales como un estudio acústico, la prospección arqueológica superficial, la localización de préstamos y vertederos e instalaciones de obra, teniendo en cuenta la previsible división en tramos (división que no tiene sentido hacerse antes de la aprobación definitiva del Estudio informativo, sin saber qué alternativa será la definitivamente adoptada y cuales las fases de desarrollo de los más de 200 kilómetros del itinerario). Se llega al absurdo de exigir que se indique la tipología de las estructuras, "especificando al menos sus longitudes, luces, nº de pilas, proceso constructivo, etc", cuando para ello se necesita, en el proyecto de construcción, una cartografía 1/200, 25 veces más precisa que la cartografía 1/5.000 utilizada en el estudio informativo. El Estudio de impacto ambiental complementario se aprobó técnicamente el día 16 de septiembre de 2010 y se sometió a información pública el 20 de noviembre de 2010. Nunca se emitió la Declaración de Impacto Ambiental.

Esa permisividad para afectar a una zona declarada ZEPA, contrasta con la actitud de los organismos responsables del medio ambiente en otras dos autovías en Extremadura.

En el caso del estudio Informativo de la autovía de la Plata de Gijón-al puerto de Sevilla, A-66, tramo Plasencia Sur-Mérida, la alternativa propuesta afectaba a la ZEPA denominada “Llanos de Cáceres y Sierra de Fuentes” que al envolver a la ciudad de Cáceres por el norte, por el este y por el sur, es imposible no afectarla al trazar una autovía por el corredor de la N-630 que dé servicio a la ciudad. Así ocurría con la alternativa propuesta que afectaba a la parte norte a lo largo de 10 kilómetros y a la parte sur de la misma a lo largo de unos 15 kilómetros. Además, cerca de Mérida el trazado propuesto apenas rozaba un borde de otra ZEPA, la denominada “Cornalbo y Sierra Bermeja” La declaración de impacto de 23 de julio de 1998, del citado estudio informativo prescribía lo siguiente:

“Dado que el estudio informativo se deduce la falta de alternativas técnicamente viables que no afecten a la Zona de Especial Protección para las Aves de los «Llanos de Cáceres» y que la solución este con las modificaciones de trazado contempladas en la condición 1.4 reduce la afección a este espacio, se deberán adoptar las medidas compensatorias que sean necesarias para garantizar que la coherencia global de la red Natura 2.000 quede protegida. La Comunidad Autónoma de Extremadura comunicará a la Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente las medidas compensatorias que se hayan adoptado y éste, a través del cauce correspondiente, informará a la Comisión Europea. A estos efectos, la Administración competente de Carreteras realizará un estudio de carácter científico suscrito por profesionales expertos en el que se analice de forma exhaustiva el efecto

de la ejecución y explotación de este proyecto en este tramo sobre las aves que motivaron la declaración de Zona de Especial Protección para las Aves, así como las medidas preventivas y correctoras para minimizar dicha afección. También se abordará en el estudio un análisis sobre la adecuación de las medidas compensatorias que se propongan, cualquiera que sea el carácter de las mismas. El estudio anterior, así como las medidas compensatorias que se propongan se remitirán y deberán contar con el informe favorable de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y del órgano de Medio Ambiente de la Junta de Extremadura, antes de la aprobación definitiva del proyecto. Se procederá de igual modo en el tramo que discurre por el Parque Natural y Zona de Especial Protección para las Aves del Embalse de «Cornalbo y Sierra Bermeja», si se demuestra que no existe alternativa técnicamente viable que pueda liberar de afección directa a dicho espacio protegido”.

En este caso se habla de que no hay alternativas viables que no afecten a las ZEPAS, de medidas compensatorias, y de informar a la Comisión Europea, ya que se afecta a la Red Natura 2000, y de la obligación de realizar un estudio científico para analizar el efecto de la autovía sobre las aves.

Otro tanto ocurrió con el estudio informativo de la autovía Trujillo-Cáceres cuyas alternativas forzosamente debían afectar a la misma ZEPA anteriormente citada de “Llanos de Cáceres y Sierra de Fuentes”, ya que como se ha dicho, bordea a Cáceres también por el este. En la declaración de impacto ambiental de 14 de mayo de 2003 se imponían las siguientes condiciones.

“Con el fin de mejorar las condiciones del hábitat natural, en el proyecto de construcción se definirán, de acuerdo con el órgano gestor de la ZEPA «Llanos de Cáceres y Sierra de Fuentes», los cerramientos de malla de espino a sustituir, la mejora de los tejados que favorezcan el anidamiento del cernícalo primilla, la ubicación de las pequeñas charcas que se construyan para mejorar la capacidad de acogida del hábitat para las aves presentes en la zona y la señalización y adaptación de aquellos tendidos eléctricos que realmente ocasionen bajas a la fauna, así como cualquier otra medida que se proponga por el órgano gestor de la ZEPA y sea asumida por la Dirección General de Carreteras”.

La relación de acciones a llevar a cabo no es pequeña. La Dirección General de Carreteras, debe sustituir el vallado de las fincas, arreglar los tejados de las casas y naves, construir charcas para las aves (en una zona donde a veces hay que traer agua con un camión cisterna para que pueda beber el ganado vacuno) y señalizar y adaptar los tendidos eléctricos que ocasionen bajas a la fauna. Y eso no es todo. También cualquier medida que proponga el órgano gestor de la ZEPA.

Aparentemente el trato dado por las mismas autoridades medioambientales a estas dos últimas ZEPAS difiere mucho del que se pretende dar al de la “Campiña Sur y embalse de Arroyo Conejo” cerca de Llerena o el que se dio en su momento a la ZEPA “Embalse de Valdecañas” que tantos problemas urbanísticos, sociales, administrativos y judiciales ha tenido en estos últimos años. ❖

Inundaciones en la N-651 a su paso por A Ribeira en el casco urbano de Betanzos.

Estudio y subsanación



Floods on the N-651 in its path by A Ribeira in the urban area of Betanzos. Study and correction

Alvaro L. Nogueira González
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Eduardo Toba Blanco
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El Ministerio de Fomento (hoy MITMA), inició en 2018 las obras de mejora del sistema de drenaje en la carretera N-651, entre los p.k. 0+000 y 0+500, a su paso por Betanzos (A Coruña).

Se ejecutaron: Cierre del murete del malecón; instalación de clapetas anti-retorno en la red de drenaje existente; red de drenaje complementaria; sistema de bombeo con grupo electrógeno y control telemático; reposición de pavimentos.

Posiblemente el primer pólder en España.

The Ministry of Fomento (today MITMA), began in 2018 the works to improve the drainage system on the N-651 road, between p.k. 0+000 and 0+500, as it passes through Betanzos (A Coruña).

The following were executed: Closure of the boardwalk wall; installation of anti-return clappers in the existing drainage network; complementary drainage network; pumping system with generator set and telematic control; replacement of pavements.

Possibly the first polder in Spain.

Desde mediados de los años 60 en la zona del Malecón de Betanzos se vienen produciendo periódicamente inundaciones debido a la acción conjunta de las mareas equinocciales y a los caudales de crecida de los Ríos Mandeo y Mendo. (Figura 1)



Figura 1.

Estas inundaciones originan importantes molestias debido a que la zona fue urbanizada sobre terrenos inundables con las mareas vivas del río Mandeo y están ocupadas por viviendas, y ocasionan importantes pérdidas económicas a los propietarios y a las administraciones públicas.



Figura 2.

A todo lo anterior se une el hecho de que la carretera nacional N-651, desdoblada, discurre por el borde del malecón y debe ser cortada durante los periodos de inundaciones (con calados medios entre 15 y 25 cm de agua sobre la calzada). En los últimos 9 años hubo 10, realizándose el desvío a través de calles del casco urbano de Betanzos con las consiguientes molestias para los vecinos, daños en las viviendas y el perjuicio para los usuarios del vial con tiempos perdidos.

sentido, aceras en ambos márgenes y del lado del río tiene una zona para el estacionamiento en línea de vehículos y un murete de unos 60 cm de alto que hace las veces de quitamiedos o pretil. Este murete tiene varias discontinuidades que son los accesos a través de unas escaleras en la escollera a las embarcaciones de los lugareños, y por donde penetra el agua en tiempos de crecida. (Figura 2)

Para determinar las causas de las inundaciones se realizó un estudio de la documentación existente y un trabajo de campo para conocer el sistema de drenaje de la carretera, datos que sirvieron para hacer un inventario y saber con la mayor precisión su funcionamiento, y se determinó que la red de drenaje estaba compuesta por un conjunto de sumideros ubicados en la margen interior de la calzada, adyacentes a la línea de edificación, que desembocan en un colector unitario existente. Este colector desagua parcialmente a los ríos Mendo y Mandeo mediante caños o tajeas sin válvulas anti retorno, que cruzan la calzada a una cota de desembo-

La sección transversal de esta calzada en este tramo está formada por dos carriles para el mismo

Las inundaciones son importantes ya que obligan a cortar la carretera y son noticia en la presa local y autonómica, se pueden apreciar en las fotografías de las últimas inundaciones (Figura 5)



Figura 3. A Ribeira, vuelo de 1945 (existe un camino de sirga)



Figura 4. A Ribeira, vuelo de 2017 (sombreado la zona inundable)



Figura 5.



Figura 6. Interrupciones murete de malecón para acceso de embarcaciones



Figura 7. Explicaciones a varias autoridades sobre la problemática

cadura inferior a la de la bajamar, y finaliza en un arenero que es vaciado cada 15 días por parte de los servicios municipales, es parcialmente un sistema unitario

En la zona del aparcamiento la evacuación de las aguas pluviales se realiza mediante un caz longitudinal y unos desagües tubulares de diámetro 110 que atraviesan la acera y el murete para verter en el río.

El nivel de todos estos sumideros varía entre las cotas 3,70 y 3,90 referidas al cero del Puerto de A Coruña, por lo que para mareas superiores a este nivel entra agua del río en la calzada a través de la red de drenaje de aguas pluviales.

Esta situación es frecuente durante los periodos equinocciales en los que las mareas vivas alcanzan frecuentemente niveles comprendidos entre 4,00 y 4,30 m (cero Puerto de A Coruña)

La situación se ve agravada por motivos naturales que pueden coincidir con esas pleamareas como son las mareas meteorológicas debidas a las bajas presiones (incremento de 1 cm de altura de nivel del agua por cada milibar de presión por debajo de los 1.033 milibares) y por las crecidas del Río Mandeo que tiene un caudal muy variable (presenta en numerosas ocasiones caudales máximos hasta 20 veces superiores al caudal medio anual), con un tiempo de concentración en su cuenca muy corto, y en el que existen varias mini centrales que se ven obligadas a aliviar en los episodios de lluvias intensas.

También se ha comprobado que para mareas elevadas el gradiente hidráulico ocasiona filtraciones de aguas del río hacia los rellenos antrópicos situados bajo la calzada, lo que unido a la falta de estanqueidad de los colectores y tajeas antiguos ubicados en esa zona ocasiona la

entrada de agua en los mismos y su posterior salida a la calzada a través de los sumideros de la red de pluviales.

Además, se produce un incremento de la inundación por las interrupciones que tiene el murete perimetral del malecón que es por donde se accede a las embarcaciones, estas se sitúan en la cota 4,10 referida al Puerto de A Coruña, por lo que con mareas superiores accede más agua a la calzada. (Figura 6)

De la observación del problema desde Octubre del año 2015 a la actualidad y escuchando los testimonios del Concello de Betanzos y de los vecinos de la zona, se llegó a las siguientes conclusiones iniciales:

- En la mayor parte de las inundaciones el nivel de agua sobre la calzada no sobrepasa los 30 cm y se recuerdan muy pocos casos en los que el agua del río desborde por la parte superior del murete de borde del malecón.
- Si se consiguiese evitar la entrada del río a través de la red de drenaje de aguas pluviales y se cerrasen las interrupciones del murete del malecón se eliminarían más del 95% de las inundaciones que se recuerdan.
- Si coinciden en el tiempo episodios de lluvia y de mareas altas, al no poder desaguar la red de drenaje, sería necesario buscar un sistema de evacuación de las aguas de lluvia para evitar las inundaciones por este motivo. Este aspecto es de especial relevancia porque en la zona objeto del estudio confluye la escorrentía de una cuenca totalmente urbana de una superficie aproximada de 6 hectáreas y con un coeficiente de escorrentía próximo a la unidad.

La solución propuesta para evitar o reducir los efectos de estas inundaciones fue la siguiente:

- Evitar la entrada de agua del río en la red de evacuación de aguas pluviales mediante la instalación de clapetas anti retorno en los desagües de la red al río.
- Cerrar las interrupciones del murete de borde de malecón para impedir la entrada de agua del río por esas zonas.

Con las dos medidas anteriores se evitaran las inundaciones en los días en que no se produzcan lluvias en los lapsos de tiempo en que se producen las mareas vivas y siempre que el nivel del río no supere la cota superior del murete del malecón.

La idea esencial sería crear un Pólder, pero utilizando grupo electrógeno y bombas, con clapetas direccionales antirretorno en los conductos de evacuación. Optamos por crear una red paralela más elevada que lleve las aguas captadas al bombeo. Ya habíamos ensayado una solución semejante en la SC-20 (Santiago de Compostela) para evitar inundaciones en la vía procedentes de las crecidas del SAR, con clapetas direccionales antirretorno, seccionador automático, bombeos, y automatismos.

Para resolver el problema cuando coincidan periodos de lluvia con las pleamares se propusieron las siguientes medidas:

- Ejecución de un nuevo colector de aguas pluviales de polipropileno de 600 mm de diámetro para captar las aguas de la cuenca de 6 hectáreas que vierte su escorrentía en la zona del malecón de A Ribeira.
- Construcción de un pozo de bombeo en el punto más bajo de la zona del malecón para recoger las aguas pluviales captadas por el colector de 600 mm y bombearlas hacia el río.

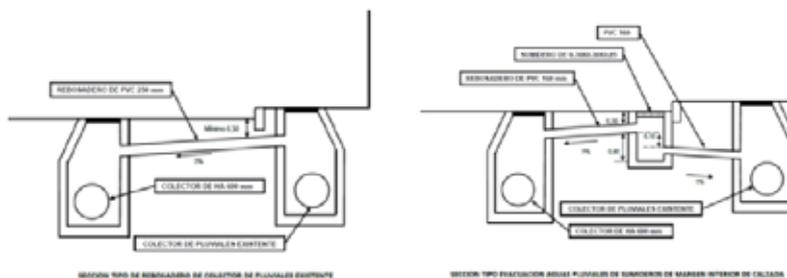


Figura 8.

- Conectar mediante aliviaderos los colectores de aguas pluviales existentes en el malecón y los que confluyen en las calles transversales a este con el nuevo colector, de este modo en aquellos casos en que la red antigua de aguas pluviales no pueda desaguar, por coincidir con pleamares, las aguas de escorrentía pasaran al nuevo colector que las conducirá al pozo de bombeo para su evacuación. (Figura 8)

La amplitud de la cuenca que vierte a la zona de A Ribeira (6 hectáreas), totalmente urbanizada con un coeficiente de escorrentía próximo a la unidad (0,90), los caudales obtenidos para el periodo de retorno habitual para las redes de drenaje (T:10 años) sería muy elevado, lo que originaría unos costes importantes para la ejecución de los nuevos colectores en grandes diámetros y para la instalación y consumo eléctrico de las bombas sumergibles de gran potencia que sería necesario instalar.

Por este motivo se dimensionaron los colectores para el periodo de retorno cuya probabilidad combinada de presentarse junto con las mareas vivas equinocciales sea equivalente o inferior a la del periodo de retorno de 10 años en condiciones normales.

De este modo se adoptó un periodo de retorno de 2 años, para el que la probabilidad de ocurrencia combinada del episodio pésimo en el primer año es del 4%, inferior a la correspondiente únicamente al perio-

do de retorno de 10 años que es del 10%.

La probabilidad de ocurrencia del suceso de incapacidad de desagüe de la red de pluviales por mareas altas (por encima de la 3,90 del Puerto de A Coruña) y caudales elevados del Río Mandeo (por encima de 15 m³/sg) es inferior a la probabilidad de ocurrencia de un suceso de lluvias de un periodo de retorno de 10 años, que es el prescrito para la red de drenaje longitudinal de una carretera. El tiempo en que la marea está por encima de la cota 3,90 viene a ser del orden del 5% del año.

El tiempo durante el año en que las mareas son superiores a 3,50 viene a ser del orden del 10% y el tiempo que los caudales del Mandeo son superiores a 15 m³/sg del orden del 30%.

Con estas hipótesis obtenemos una probabilidad de ocurrencia en el año del suceso compuesto de lluvias elevadas y mareas y/o caudales altos que impidiera desaguar a la red de drenaje que toma el siguiente valor:

$$p = (1/20 + (1/10) \times 0,30) \times 1/2 = 0,04$$

Este valor es inferior a la probabilidad correspondiente a un suceso sencillo de lluvias correspondientes al periodo de retorno de 10 años donde $p = 1/10$

Los caudales obtenidos por el Método Racional para un tiempo de concentración de 10 minutos, coeficiente de escorrentía de 0,90 y para $I/Id=23$ son: (Tabla 1)

Tabla 1.

Periodo de retorno (T)	A (Ha)	C	I/d	Xt (mm/h)	Q (m³/sg)
2 años	6,00	0,9	23	46,05	0,788
10 años	6,00	0,9	23	71,90	1,230

Tabla 2. Caudales máximos

Colector	Periodo de retorno (T)	A (Ha)	C	I/d	Xt (mm/h)	Q (m³/sg)
Oeste	2 años	3,320	0,9	23	43,77	0,436
Este	2 años	2,680	0,9	23	43,77	0,352

Tabla 3. Capacidad con grado de llenado del 85%

Colector	n	I (m/m)	Área	Rh	V (m/sg)	Q 85 (m³/sg)
Oeste	0,012	0,005	0,256	0,18	1,89	0,485
Este	0,012	0,005	0,256	0,18	1,89	0,485

De este modo el caudal a desaguar es un 36% menor que el correspondiente a un periodo de retorno de 10 años.

Por las características del terreno se tuvieron que plantear dos colectores, Este y Oeste que confluirán en el pozo de acometidas al pozo de bombeo

De acuerdo con las tablas 2 y 3 los colectores tienen una capacidad hidráulica superior a los mayores caudales previstos.

Se planteó una estación de bombeo de hormigón armado enterrado en la zona ajardinada existente en las inmediaciones del antiguo Matadero, con unas dimensiones interiores de 4,80 x 4,30 x 3,68 metros. Para determinar sus dimensiones primero se

tanteó a través del Diagrama de dimensionamiento A-E (Saneamiento y alcantarillado Vertidos residuales de Aurelio Hernández Muñoz publicado por el CICCOP edición 7. Colección Seinor). Su interior se dividió en 3 partes diferenciadas; una cámara de tranquilizamiento de las aguas de llegada, un recinto de emplazamiento de bombas y la cámara de calderería. (Figura 10)

El pozo tendrá 4 bombas sumergibles, dimensionadas para funcionar de forma alternativa o conjunta en función de los caudales de llegada y de forma automática cuando el nivel de agua alcance las alturas programadas con las sondas de activación de las bombas. El funcionamiento de las bombas es alternativo para garantizar el mismo número de horas de trabajo para cada una de ellas e intentar que tengan una vida útil similar.

La tubería de salida de las bombas es de diámetro interior de 300 mm de acero inoxidable y se incorporara en T a la impulsión general de 500 mm de diámetro interior y de fundición.

Aunque el desnivel existente es muy reducido se instalaron válvulas



Figura 9.

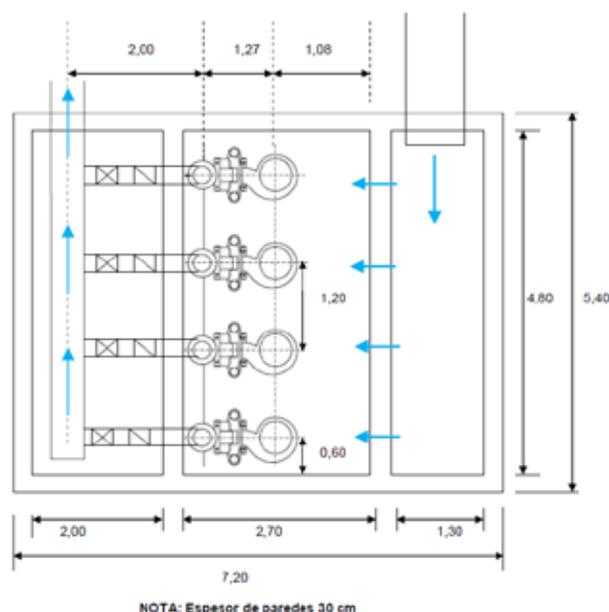


Figura 10.

de bola de retención y de guillotina de control en las tuberías de salida de las bombas en la zona de calderería, que es una cámara de dimensiones 4,80 x 2,00 x 1,55 metros.

Se dimensiona la estación de bombeo para un caudal de 0,788 m³/seg equivalente a un periodo de retorno de 2 años y para una superficie de cuenca de 6,00 Ha.

En las condiciones pésimas se considera que existirá una carga de agua de 1,20 m sobre la salida de la impulsión, estando el nivel del río Mandeo a la cota relativa de la coronación del murete de borde del malecón.

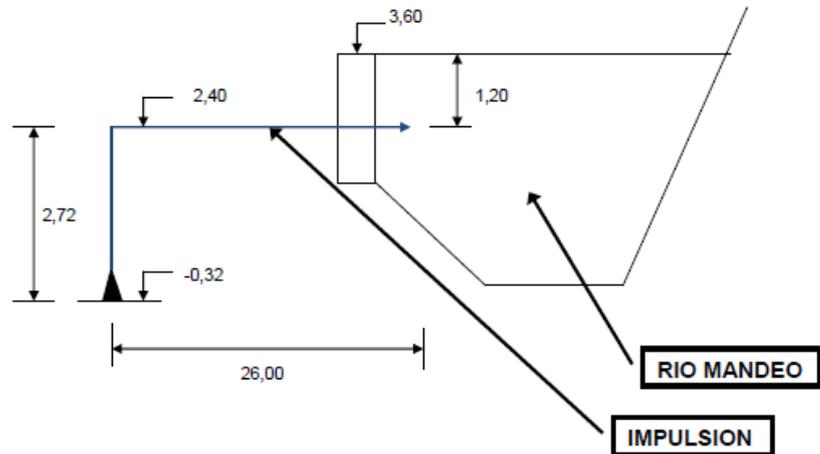


Figura 11.

Los parámetros de diseño son:

- Caudal;
0,788 m³/seg
- Desnivel:
H= 3,60 - (-0,32) = 3,92 m.
- Longitud de impulsión:
24,00 m

El croquis del perfil de la impulsión: (Figura 11)

En el punto de desembocadura de la impulsión, situado en el cauce del río Mandeo a la cota relativa 2,40 se colocó una clapeta anti retorno para evitar la entrada de agua en sentido contrario.

Cálculo hidráulico de la impulsión

La altura geométrica de bombeo será de 3,92 metros.

A continuación, se calcula la pérdida de carga total que se produce en la impulsión:

$$H = 3,92 + \Delta H_c + \Delta H_L$$

Donde;

- ΔH_c son las pérdidas de carga continuas
- ΔH_L son las pérdidas de carga localizadas

Pérdidas continuas

Pérdida de carga en la tubería de fundición 500 mm:

$$\Delta H_c = L \cdot \frac{(n \cdot v)^2}{R_h^3}$$

Donde aplicando los valores se tiene:

$$\Delta H_c = 24,00 + \frac{(0,012 + 4,01)^2}{\left(\frac{0,50}{4}\right)^3} = 0,890 \text{ m}$$

Pérdidas continuas tubería de acero de 300 mm:

$$\Delta H_c = 5,00 + \frac{(0,008 + 2,79)^2}{\left(\frac{0,30}{4}\right)^3} = 0,079 \text{ m}$$

Pérdidas localizadas en los elementos

Pérdidas localizadas en codos y cambios de ángulo en tubería de 300 mm (Se considera que existen 2 codos a 90° en el interior de la cámara de bombeo y una incorporación en T a la tubería principal de 500 mm de diámetro), junto con una válvula de retención y otra de cierre, de diámetro 300 mm

$$\Delta H_L = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

K es el coeficiente de pérdidas adimensional

V es la velocidad en m por segundo

g, es la aceleración de la gravedad 9,81 m/s²

Codo a 90°

$$\Delta H_L = K \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,30 \cdot \frac{2,79^2}{2g} = 0,12 \text{ m}$$

Incorpor.T

$$\Delta H_L = K \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,30 \cdot \frac{2,79^2}{2g} = 0,52 \text{ m}$$

V mariposa

$$\Delta H_L = K \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,50 \cdot \frac{2,79^2}{2g} = 0,20 \text{ m}$$

V retención

$$\Delta H_L = K \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,30 \cdot \frac{2,79^2}{2g} = 0,12 \text{ m}$$

Pérdidas totales

H=5,84 m

En función de lo anterior se instalaron 4 bombas sumergidas con las siguientes características por bomba:

- Potencia hidráulica 20 Kw
- Caudal 3000 m³/h

- Altura de impulsión 6 metros
- Frecuencia nominal 50 Hertzios
- Tensión nominal 400 voltios
- Velocidad nominal 1445 rpm
- Corriente nominal 41,7 Amperios
- Peso de 522 kg cada una

Suministro eléctrico

Las bombas requieren el suministro de energía eléctrica trifásica a 400 V, pero debido al elevado coste que supondría realizar la conexión eléctrica desde la línea de media tensión más próxima y a los elevados costes fijos que tendría el contrato de suministro con la empresa concesionaria del servicio para un uso de la instalación de muy pocas horas al año, se decidió instalar en las inmediaciones del pozo de bombeo un grupo electrógeno insonorizado alimentado por gasoil que arranca de forma automática cuando se le envía la señal de arranque desde las bombas. Sus características son:

- Potencia emergencia 220 KVA
- Potencia emergencia 176 Kw
- Consumo combustible 32 l/h
- Voltaje de salida 230/400 Vac
- Eficiencia 93,2%

Este grupo electrógeno se sitúa en una caseta de madera con ventilación natural adyacente al pozo de bombeo para su mejor conservación e integración en el entorno.

Obra civil

La primera actuación que se realizó fue el cierre de las discontinuidades (acceso a las embarcaciones) del murete perimetral en las zonas de inundación. Se ejecutó de una manera sencilla y rápida, encofrado, con hormigón



Figura 12.



Figura 13.

armado y anclajes al murete. Para mantener el servicio del malecón se instalaron unas escaleras para salvar el muro y poder bajar hacia las embarcaciones por parte de sus propietarios. Las escaleras se fabricaron de aluminio lacado en color ocre para su integración en el entorno. (Figura 12)

El colector se decidió ubicarlo entre el aparcamiento y el carril más exterior, con el fin de que la carretera permaneciera abierta con el carril interior y evitar restricciones entre las calles aledañas y favorecer la circulación.

En la zona de A Ribera el punto bajo se encuentra aproximadamente en la mitad de la herradura que la conforma, ubicación de la estación de bombeo, por ello había que construir dos colectores,

denominados este y oeste que confluyen en un pozo de convergencia (acometida) que conduce el agua hacia la cámara de tranquilización. Junto al pozo de convergencia se construyó otro de sección rectangular de 2,00x2,00 m² conectados y con salida por gravedad al Río Mandeo, pozo denominado PA donde se instaló una válvula clapeta para impedir la entrada del agua con mareas altas y desaguar por gravedad las aguas procedentes de los colectores con mareas bajas. La construcción del pozo PA fue prefabricado por causa de las mareas, ejecución junto a su posición final para evitar traslados y una vez fraguado se realizó la excavación y se colocó sobre las esperas de una solera de hormigón armado de 20 cm. (Figura 13)

Los dos colectores tienen las siguientes características: (Tabla 4)

Una vez ejecutado este pozo se procedió a abrir la zanja para los colectores, previamente realizado el corte del aglomerado para la demolición de una franja de 1,80 metros de ancho, y luego se comenzó la excavación, primero la del colector este y después la del oeste. La zanja se ejecutó con paredes rectas y en las zonas de mayor profundidad se colocó entibación cuajada con paneles blindados para proteger convenientemente a los operarios. La dificultad en la construcción de los colectores era que se tenía el tiempo limitado por la influencia de la marea, penetraba a través del terreno el agua e inundaba las zanjas, se debía interrumpir el trabajo e intentar realizar otras labores. Durante la ejecución de las obras se tuvieron mareas altas, incluso las que los lugareños llaman las Lagarteiras, que son las mayores del año. (Figura 14)

La tubería instalada es de polipropileno de diámetro exterior de 630 mm y para evitar que la subpresión levantara la tubería se utilizó hormigón en masa sobre las juntas de la tubería para contrarrestar el empuje vertical.

La posición de los pozos estaba condicionada por las juntas y la ubicación de los pozos y sumideros existentes del otro lado de la calzada dado que se debía garantizar el funcionamiento como aliviadero del colector existente. Estos pozos se ejecutaron con hormigón y en dos fases, la primera con un encofrado prefabricado para que fueran todos iguales en sección y otra que consistía en suplementarlos en función de la altura de cada uno. Los sumideros junto al aparcamiento se conectaron al nuevo colector. La tapa de estos pozos lleva inscrita la concha del Camino de Santiago, el del Norte. (Tabla 5)



Figura 14.

Tabla 4.

Colector	φext (mm)	Longitud (m)	Profundidad (m)		Pendiente (%)	
			min	máx	min	máx
Oeste	630	260	0,90	1,91	0,33	0,68
Este	630	230	0,97	1,91	0,25	0,70

Tabla 5.

Colector	Número de pozos (ud)	Profundidad (m)		Conexiones colector existente (ud)
		min	máx	
Oeste	9	1,2	2,10	7
Este	10	1,10	2,10	9



Figura 15.

La ejecución de las zanjas del colector provocó deterioros importantes en la acera junto al murete por lo que se tenía que plantear también la mejora de la humanización, y dejar una integración ade-

cuada entre la obra ejecutada y la zona de A Ribeira. (Figura 15)

La ubicación de la estación de bombeo es en el punto bajo, en un jardín próximo y junto a un par-



Figura 16.



Figura 17.



Figura 18.

que infantil, por los que primero se hizo es vallar la zona de exclusión para que cualquier persona ajena a la obra no pudiera acceder. Una vez replanteado se procedió a la excavación para poder construirlo in situ, se tuvo la ventaja que el terreno era bueno para el vaciado

con un talud de 1 a 3, haciéndose la excavación completa y rápida en apenas dos días y moviéndose unos 400 m³ de tierras. (Figura 16)

Realizada la excavación hasta cota de cimentación se procedió a rebajar algo más el terreno para

dotarlo de un enchachado de unos 50 cm y reducir las subpresiones, posteriormente se niveló el suelo con hormigón de limpieza y se procedió a realizar una losa de hormigón armado de 30 cm de espesor con armadura de espera para las paredes de la estación de bombeo, cuando la solera de hormigón tuvo la resistencia adecuada se procedió con los encofrados de las paredes, la armadura y hormigonado, que se realizó mediante el procedimiento de bombeo, posterior vibrado y curado. (Figura 17)

Las divisiones de los tres compartimientos de la estación de bombeo se ejecutaron también, quedando los tres volúmenes comunicados, la cisterna o cámara de tranquilizamiento de 23 m³, cámara de bombas de 48 m³ y zona de calderería con 15 m³. La losa superior de 30 cm de hormigón armado dispone de tapas de acero inoxidable, que por seguridad son muy pesadas y con candados.

Las paredes exteriores se impermeabilizaron con pintura asfáltica, luego se envolvieron con materiales plásticos y después se rellenó con grava los huecos restantes entre la obra y los taludes naturales del terreno.

Construida la obra civil de la estación de bombeo se procedió a la ejecución de la tubería de impulsión y salida al río Mandeo, está se ejecutó con tubería de fundición dúctil de diámetro interior de 500 mm y con una longitud de 24 metros, atraviesa perpendicularmente la calzada, el aparcamiento, la acera y el murete, y mientras no se terminó con el equipamiento de la estación de bombeo, se colocó un globo para impedir la entrada de agua desde el río. (Figura 18)

Una vez colocadas las tapas de la estación de bombeo se procedió a la instalación del equipamiento interno, formado por las cuatro bombas y la calderería de la impulsión (tubos, carreteras, válvulas y cableado de control).

En el compartimiento del medio, donde se instalaron las bombas, previamente se realizaron sendos zócalos para recibir las cuatro bombas y quedaron a la altura correcta tanto estas como la boquilla de toma de agua. La cámara de bombas tiene el cableado de arranque y las sondas de accionamiento en función del calado de la cámara, cuatro niveles. Para llevar el cableado al cuadro de mandos se ejecutaron dos arquetas, una junto a la estación de bombeo y otra junto a la caseta donde se instaló el aparellaje eléctrico y el grupo electrógeno.

El control de las bombas se realiza a través de un autómata programable produciendo el arranque mediante el nivel establecido con las sondas distribuidas en cuatro alturas funcionando las bombas según las necesidades. Cada una de las bombas dispone en el cuadro de un interruptor magnetotérmico para la protección ante contactos directos y un interruptor diferencial para los indirectos, un arrancador suave para evitar las intensidades absorbidas durante el arranque sean superiores a las del régimen permanente, el conexionado de los cables eléctricos de alimentación es en triángulo. (Figura 21)

Como la obra está en una zona urbana y de paseo de los habitantes de a Ribeira e incluso de alguno peregrinos hacia Santiago, se decidió ubicar el cuadro eléctrico y el grupo electrógeno dentro de un edificio que se integrara, por ello se eligió como material la madera tratada para ambiente marino, con



Figura 19.



Figura 20.



Figura 21.

el espacio suficiente para albergar los equipos como otros enseres. (Figura 20)

La caseta está ejecutada con listones de madera, colocados en horizontal de tal manera que disponga en su interior ventilación natural

por la acumulación de gases que provoca el grupo electrógeno. La caseta en planta es de 6450x4450 mm y altura entre 2500 y 3000 mm, está formada por postes o soportes de 90x90 mm sujetos al suelo con cazoletas galvanizadas, viga perimetral de 160x80 mm de sec-



Figura 22.



Figura 23.

ción, correas de sección 200x100 mm cada 1000 mm y cubierta de panel sándwich, dispone de una puerta de entrada doble de 1000 mm y dos ventanas traga luz, con dos manos de pintura resistente a ambientes marinos.

Una vez construida la caseta para albergar los equipos exteriores, se procedió a la instalación del cuadro eléctrico y de programación de las bombas, se colocó encima de la arqueta del cableado procedente de las bombas, y junto a este las baterías de arranque. El equipamiento lleva consigo el control por vía web del estado de la instalación a través de cobertura inalámbrica, para ello se contrató una línea móvil de datos.

Para evitar el acceso a la instalación, y consultado con el municipio,

se decidió vallar perimetralmente el recinto y sólo se puede entrar a través de un portalón. El material utilizado en el cierre es mallazo rígido, con una altura de 1,50 m, de color negro anclado al suelo con postes encajados en cazoletas de acero galvanizado. El recinto tiene 145 m², y aproximadamente 60 m² de jardín cubierto con corteza de pino en escamas, adornándose con una docena de rosales, el resto de la superficie es para el pozo de bombeo y la caseta técnica. (Figura 21)

Durante la construcción del colector se provocaron numerosos daños a la acera adyacente, esta estaba con baldosas hidráulicas de 30x30 cm de color gris claro y de difícil adquisición, además que se debía elevar unos 10 cm el bordillo, por lo que se demolió completa-

mente, colocando nuevo bordillo a la cota necesaria y se ejecutó con una solera de hormigón pigmentada en color ocre (ral-1019). La reposición se hizo en toda la longitud de la herradura, 582 metros con una anchura media de 1,75 m y con una mejora local en el acceso a la pasarela de madera (río Mandeo) y la senda de la pasarela metálica (río Mendo) con 153 metros y una anchura de 2,40 m. (Figura 22)

En cuanto a las actuaciones en la acera de la otra margen, consistieron en arreglar algunos deterioros existentes, como la falta de baldosas o hundimientos localizados, la mejora de la accesibilidad a los garajes y pasos de cebra, y la retirada de los tubos salva aceras que estaban atascadas con lo que el sistema de sumideros existente volvió a funcionar.

Una vez finalizados los trabajos de reconstrucción de las aceras, se comenzaron los del firme, primeramente con la reparación de los deterioros puntuales existentes, que algunos casos la demolición llegó a las capas granulares, posteriormente se fresó todo el ancho de la calzada y se extendió una capa de aglomerado con el cuidado de dar la inclinación adecuada para la evacuación de las aguas al drenaje, para la capa de rodadura se utilizaron 1300 toneladas de AC22 SURF D con un espesor medio de 9 cm.

Estos trabajos de aglomerado finalizaron con el pintado de las marcas viales y la instalación de pasos de cebra, aumentando en tres para la mejora de la seguridad vial.

Como la carretera N-651 también presentaba drenaje defectuoso en torno al km 0,440, coincidiendo con la calle Alfoli de Betanzos donde se formaban balsas de agua que llegaban a inundar la acera, se procedió a la instalación de un nue-

vo colector que cruza la carretera y lleva el agua al sistema de drenaje existente, dos pozos y 25 metros de diámetro 400 mm.

En la calle Alfoli, para incrementar la seguridad vial, sobre todo de los peatones, y como la cota de la acera en algunas zonas coincidía con la del firme, muy deteriorado, se procedió a rebajar la cota mediante fresado y reposición con AC22 SURF D, con 396 toneladas para la capa de rodadura. (Figura 23)

Durante la excavación de las zanjas del nuevo colector se observó que para mareas elevadas las filtraciones de agua del río a las zanjas eran bastante importantes, lo que se achacó a que la escollera de protección del cauce tenía numerosos huecos, y que el agua circulaba por debajo de la carretera debido a que la zona de la Ribeira es un relleno antrópico y heterogéneo, lo que facilitaba la entrada de esta agua en los colectores y tajeas existentes a través de juntas no estancas o en mal estado, se comprobó que durante las pleamares existía un volumen importante de agua del río que accedía de este modo a los colectores y que era evacuado a través de los aliviaderos de la red de drenaje antigua hacia el colector de nueva construcción y desde este al pozo de bombeo.

Para reducir estas filtraciones se decidió rejuntar la escollera de protección del cauce con mortero de cemento a la cota de la bajamar y su coronación, siendo este trabajo muy lento y duradero por la carrera de mareas, pero se obtuvo como resultado una reducción de las filtraciones, la superficie en la que se actuó fue de 2.500 m², operación imitada en la otra margen del río recientemente, dentro de esta actividad y previamente al rejuntado se limpió con agua a presión toda



Figura 24.



Figura 25.

la escollera y el murete, también se sellaron con resina las juntas del murete. (Figura 24)

Para acceder la pasarela del río Mendo se reconstruyó la acera con solera de hormigón pigmentada, en ella existían dos sumideros por donde la marea entraba, para evitar este problema y los usuarios pudieran seguir usándola, se reconstruyeron los sumideros y se colocaron dos válvulas clapetas de pared, fabricadas en PVC y de diámetro 160 mm, estas se protegieron con aletas ejecutadas en piedra para que no se deterioraran por los golpes de los materiales que puede arrastra el río. (Figura 25)

Por último, se tuvo que tener en cuenta el sistema de alcantarillado de A Ribeira, finaliza en un arenero,

que es vaciado cada quince días, que tiene un sistema de aliviadero formado por una tubería de 500 mm que finaliza en un pozo de resalto que desagua mediante un ovoide al río Mendo y por donde retorna el agua con mareas altas, y dado el grado de deterioro que tiene el alcantarillado, esta agua accedía a través del colector Oeste al pozo de bombeo por lo que se decidió ejecutar un pozo con una clapeta de 500 mm de pared junto al arenero y que intercepta al aliviadero con el fin de evitar la entrada del agua desde el río.

Resultado de la actuación

Las primeras pruebas de funcionamiento de la instalación se realizaron en Diciembre de 2018 y se puso en funcionamiento definitivo en Abril de 2019. (Figura 26 y 27)

Desde entonces y hasta la fecha se han producido varias mareas equinocciales importantes con niveles de hasta 4,30. Durante estos episodios la instalación ha funcionado de forma automática con normalidad y no se han producido inundaciones en la calzada de la carretera N-651 ni en los edificios colindantes con esta.

Esta solución constituye una singular aportación desde el punto de vista tecnológico al mundo del dre-

naje de las carreteras, suponiendo un importante avance, siendo más ecológica y resultando del orden de diez veces inferior en coste a la cámara de tormentas prevista por los responsables hidráulicos, y que por otra parte no resolvería el problema de penetración marina.

Tal y como resolvimos en la SC-20 se podrá con bajo coste enviar la información de estado telemáticamente, y disponer de cámara web para controlar el grado de funcionamiento del sistema.

La flexibilidad del sistema permitiría en un futuro negativo por cambio climático, recrecer ligeramente el malecón y aumentar la dotación de bombas.

Dirección Proyecto y Obra
Eduardo Toba Blanco. ICCP

Co-Dirección de Obra
Francisco Prego Gómez. ICCP

Asistencia Técnica
IPRENOR

Constructora
Construcciones Taboada y Ramos S.L.

Jefe de Obra
Álvaro L. Nogueira González. ICCP

Encargado de Obra
Manuel Bermúdez Mouriño



Figura 26.



Figura 27.

Uso de los Materiales Reciclados en los Pavimentos (Firmes)



Por los miembros del Comité Técnico Internacional 4.1 Pavimentos de Firmes de PIARC:

José del Cerro
MITMA

Jesús Díaz
IECA

Curro Lucas
REPSOL

Esta es una revisión bibliográfica realizada por el Comité Técnico 4.1 Pavimentos de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) sobre un texto publicado por PIARC en el que se incluye:

- Reciclado in situ empleando ligantes hidráulicos y/o bituminosos
- Reciclado en planta

A continuación, se redacta un resumen de este documento. Tras una introducción en la que explica los objetivos del reciclado y la reutilización, el ciclo de vida de un firme, el downcycling o reutilización en menor calidad, la recarbonatación de los pavimentos de hormigón, el RAP o pavimento asfáltico recuperado, el RCA o los ári-

dos de hormigón reciclado, o una tabla que ofrece una visión general de las aplicaciones de los áridos reciclados y la metodología (ya en el ciclo anterior el C7/8 incluyó un documento sobre reciclado)

Comenta los aglutinantes posibles, y distingue el lugar donde se realiza la mezcla (in situ o en planta), analizando los estudios preliminares del reciclado in situ (los estudios de campo, la caracterización de los materiales y las técnicas de evaluación no destructivas como la medida de las deflexiones (que miden la uniformidad del soporte), el radar de penetración en el suelo (tipo GPR que sirve para determinar las capas límites entre materiales diferentes) o una combinación de técnicas de investigación de pavimentos.

Árido reciclado	Carpeta	En el lugar	En la planta	
áridos artificiales	Ligante hidráulico		Pavimento de hormigón	
			Base de carretera	
	Ligante bituminoso		Pavimento de asfalto	
			Base de carretera	
áridos de mezcla bituminosa	Ligante hidráulico	base de carretera	Pavimento de hormigón	
			Base de carretera	
	Ligante bituminoso	Pavimento de asfalto	Pavimento asfalto	
		Base de carretera	Base de carretera	
áridos de concreto (hormigón)	Ligante hidráulico	Base de carretera	Pavimento de hormigón	
			Base de carretera	
	Ligante bituminoso		-----	-----
áridos de bases de carretera	Ligante hidráulico	Base de carretera	Base de carretera	
	Ligante bituminoso	Base de carretera	Base de carretera	

Figura 1. Posibles aplicaciones del uso de áridos reciclados

a) Reciclado in situ con ligantes hidráulicos

El reciclado in situ con ligantes hidráulicos ocupa un papel importante puesto que supone un aumento significativo de la capacidad portante, además de resultar en muchos casos la alternativa más económica. Es de aplicación en construcciones nuevas, así como en rehabilitación (no solo en todo tipo de carreteras, sino de puertos, aeropuertos, etc.) de muchos países, en los que ya existe experiencia. Se clasifica el material procedente del fresado en:

- Material bituminoso recuperado o RAP
- Material reciclado mixto
- Material granular recuperado

Si se trata de materiales granulares y/o bituminosos lo adecuado es el cemento, empleado un ligante combinado de cal y cemento en el caso de incluir arcilla y/o limo. El proceso es:

- Ajuste de la curva granulométrica.
- Dosificación de un ligante hidráulico adecuado en superficie.
- Fresado y disgregación de las capas existentes.
- Extendido y recortado del material reciclado.

- Compactación de la capa.
- Prefisuración, en su caso. Con protección a heladas o el tráfico elevado por aumentar el contenido de cemento y es necesario prefisurar.
- Pulverización del agua para obtener la humedad adecuada.
- Colocación de la(s) capa(s) de asfalto o de la lechada o micro en superficie de vías BIT.

Medioambientalmente es muy ventajoso ya que sus exigencias ambientales son mínimas. No se extraen las capas estructurales existentes, ni se eliminan en vertederos además de no existir transporte (hay menos daños en la red adyacente). La falta de especificaciones técnicas ha hecho inviable en algunas zonas esta técnica.

Puede no ser la solución pues los problemas del agua no los corrige. Puede considerarse la base de un pavimento semirrígido o rígido (uso de catálogos o métodos mecánico- empíricos basados en el análisis y cálculo de tensiones y/o deformaciones).

La aplicación de este método no daña la subrasante del pavimento durante la ejecución. El espesor de la capa reciclada depende de los requerimientos de capacidad portante del pavimento rehabilitado (puede llegar a profundidades de 400 mm).

El cemento y la cal hidratada son los ligantes hidráulicos normalmente empleados en todo el mundo. Conglomerantes como el HRB pueden emplearse si el suelo es arcilla o limo. El tipo de cemento seleccionado es menos importante que el contenido y la densidad obtenidos. El cemento más adecuado para el reciclado son los que tienen un alto contenido de adiciones y de resistencia media 32,5 (mezcla del clinker con cenizas, escorias u otras puzolanas) en las normas EN 197-1 o ASTM C 150, o ligante hidráulico (HRB) en las normas EN13282 (de estos los hay de endurecimiento normal y rápido). El contenido mínimo debe ser superior al 3 %, siendo normal del 4 al 7%. La



Figura 2. Principales fases de construcción del reciclado in situ con ligantes hidráulicos.

baja dosis de ligante puede causar problemas posteriores mucho más caros de resolver.

La homogeneidad, las características volumétricas y las prestaciones mecánicas son factores determinantes en mantener las prestaciones durante la vida útil del firme (diseño, construcción y mantenimiento). La resistencia a la inmersión debe ser:

$$R_{c, inmerso} / R_{c, referencia} \times 100 \% > 70\%$$

o aumentar el contenido de cemento

$$R_{c, inmerso} = R_{resistencia \ a \ compresión} \text{ en probetas 7 días curado con } > 90 \% \text{ humedad relativa + 7 días inmersas y}$$

$$R_{c, referencia} = R_{resistencia} \text{ en probetas 14 días curado con } > 90 \% \text{ humedad relativa}$$

Es aconsejable realizar ensayos de resistencia a compresión a 28 y 90 días, y el módulo elástico en compresión. Pueden definirse las siguientes relaciones además del rendimiento mecánico de la mezcla/capas recicladas y el tiempo de curado (también depende de la naturaleza del ligante):

$$R_{C,90d} = 1,5 R_{C,7d}$$

$$R_{C,LP} = 12 R_{C,7d}$$

$$R_{ti,90d} = 2 R_{ti,7d}$$

$$R_{ti,90d} = 0,1 R_{C,90d} = 0,15 R_{C,7d}$$

$$R_{f,90d} = 2 R_{f,7d}$$

$$R_{f,LP} = 1/(0,442802 + (2,822844/R_{c,7d}))$$

donde $R_{C,Xd}$ es la resistencia a compresión a X días, $R_{ti,Xd}$ es la Resistencia a tracción indirecta y R_{fxd} la Resistencia a flexión a X días

La ley de fatiga del material reciclado con cemento responderá a la expresión:

$$\sigma/R_f = 1 - 0,058 \log N$$

$$\sigma = 0,65 R_f (N/106)^{(-0,035)}$$

donde “ σ ” es el esfuerzo de flexotracción provocado por una carga de eje P (kN) aplicada después de un número “N” de aplicaciones.

Algunos países disponen de catálogos de secciones de firmes reciclados con cemento. La menor pendiente de la ley de fatiga y el menor módulo aseguran un mejor comportamiento a fatiga del material reciclado con una mayor deformación elástica recuperable.

El control debe hacerse en 2 etapas: avance de los trabajos y resultado final. Conviene hacer una sección o tramo de prueba para comprobar las máquinas, la profundidad de reciclado, y la eficacia de la mezcla y equipos. El empleo de una maquinaria eficaz es un factor clave para lograr una calidad (en Francia hay criterios de clasificación según el esparcidor del ligante CVL y CVT y el mezclador). Hay que controlar al menos los materiales, el contenido de ligante, la humedad., la granulometría del suelo, la homogeneidad de la mezcla, el nivel de compactación, el comportamiento mecánico y, el aspecto y geometría (profundidad del reciclado). Conviene además

Tabla 1. Parámetros de diseño documentados en el proyecto Direct-Mat

País	Hopt	Contenido aglutinante		Pruebas mecánicas
		Compactación	Curado de las muestras	
Alemania	Compactación Estática (50 kN)	Compactación Estática (50 kN)	2 días a 20°C y 95% humedad + 26 días a 20°C y 55%	Contenido vacío; R a tracción indirecta tras 7 28 días; Sensibilidad al agua y módulo rigidez
Irlanda		Compactación Estática (130 kN)	14 días a 35°C y 20% humedad relativa	Compatibilidad; Resistencia a compresión; R a humedad; Modulo Rigidez a tracción indirecta; R a tracción indirecta; Res. a compresión
Portugal	Proctor Modificado	Compactación Estática (21 MPa/8 MPa)	1 día a Temp. ambiente + 3 días a 50°C	Sensibilidad al agua R a compresión uniaxial
España	Proctor Modificado	Compactación Estática (170 MPa/60 MPa) giratorio	3 días a 50°C	Sensibilidad al agua R a compresión uniaxial R a tracción indirecta
Reino Unido	Proctor	Proctor	3 días a 60°C	Módulo de rigidez a tracción indirecta
Wirtgen	Proctor Modificado	Compactación por impacto 2x75 golpes	3 días a 40°C	Modulo de rigidez a tracción indirecta (en seco); R. a tracción indirecta (húmeda y seca); Resist. a compresión no confinada.

controlar el espesor, la resistencia mecánica, la geometría, la capacidad portante y algunas veces, las deflexiones y las grietas reflejadas.

b) Reciclado in situ con ligantes bituminosos

El reciclado in situ con ligante bituminoso puede realizarse con emulsiones asfálticas y asfalto espumado además de otros como el filler o el cemento hidratado. Se necesita una pequeña proporción de finos para que la espuma bituminosa funcione (del orden de más del 4%). Las recuperadoras funcionan en 150 mm y 300 mm pues por encima de este rango se ralentiza la producción y pueden no lograrse capas compactables.

Suele utilizarse una fresadora aunque la disponibilidad del equipo es una consideración para el diseño de la mezcla. Se debe aclarar que el diseño de las mezclas in situ es menos preciso que en planta. La granulometría y la calidad son los parámetros de interés.

El contenido óptimo del ligante se realiza de varias maneras como se muestra en el proyecto Direct-Mat (europeo, diferente a como se hace en EEUU o en Australia donde se acepta el módulo de resistencia de los núcleos compactados Marshall). (Tabla 1)

El reciclado in situ puede realizarse sin agente estabilizador para mejorar la base. Las máquinas de reciclado, a las que se acopla camiones cisterna que puede empujar, han mejorado considerablemente constando de un tambor de corte, corazón del reciclado in situ. El fluido es añadido en la cámara donde está el tambor mediante bombeo controlándose el flujo mediante un microprocesador. Las tareas de trabajo se pueden dividir en:

- Eliminación de la antigua capa superficial bituminosa
- Corrección del perfil geométrico
- Adición de áridos y corrección de la granulometría en ocasiones
- Adición de relleno activo (cal hidratada o cemento)
- Pulverización
- Profundidad del reciclado
- Adición de agua; y del ligante
- Mezcla
- Colocación
- Compactación (inteligente en la que algunos compactadores cuentan con GPS para ver la velocidad y el número de pasadas y acelerómetros para medir la rigidez relativa). Se puede utilizar los valores de rigidez para definir un patrón de rodadura.

Tras un análisis a los equipos (recicladoras sobre neumáticos u orugas, ...) y del control se finaliza este capítulo, no sin antes indicar el posible empleo del RAP en las mezclas in situ por el método "hot in place" (HIPAR) con un equipo especial móvil con calentador que ablanda la superficie del pavimento asfáltico, un escafificador, la mezcla, el extendido y la compactación, todo ello con o sin material suplementario. El objetivo del HIPAR es mejorar las alteraciones superficiales hasta una profundidad de 50 mm. Se puede distinguir entre el reahace (sin cambios en la formulación de la mezcla asfáltica como el recapado o el remix) , la remezcla o esta compacta.

Origen del asfalto recuperado	Idoneidad para su uso en		
	Capa superficial de asfalto	Capa intermedia de asfalto	Capa base de asfalto
Capa de rodadura o rodamiento de asfalto	preferencia ¹⁾	preferencia	adecuado
Superficie de asfalto y capa intermedia	adecuado con la precondición ²⁾	preferencia	adecuado
Capa intermedia de asfalto	adecuado con la precondición ²⁾	preferencia	adecuado
Capa base de asfalto	No es adecuado	No es adecuado	preferencia

preferencia: el mayor valor añadido está asegurado,
 adecuado: no se aprovechan todas las ventajas técnicas y económicas,
 apto con condición previa - sólo referente a una prueba especial,
 ns - no apto.

1) normalmente sólo para mezclas de hormigón asfáltico AC
 2) tras un tratamiento especial

Tabla 3. Directrices para las pruebas de calidad del árido de RAP recuperado

Contenido de RAP en la mezcla	Pruebas de áridos recuperados de RAP
≤ 30%	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar las propiedades intrínsecas de los agregados • Clasificación de los áridos
> 30%	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar las propiedades intrínsecas de los agregados • Clasificación de los áridos • Valor de trituración de los áridos (ACV) / resistencia a la fragmentación - Coeficiente de Los Ángeles • Valor de aplastamiento del agregado de finos (10% FACT) o • Índice de escamación • Valor de la piedra pulida PSV (si se requiere) • resistencia a la congelación y descongelación (si se requiere)

Tabla 4. Directrices para las pruebas de calidad del betún recuperado del RAP

Sustitución de betún RAP	Pruebas de betún recuperado RAP
≤ 15%	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de betún • Contaminantes (presencia de alquitrán de hulla)
> 15%	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de betún • Contaminantes (presencia de alquitrán de hulla) • Punto de ablandamiento o • Penetración o • Viscosidad • Parámetros de grado de rendimiento: • G*, δ, JNR, utilizando el reómetro de cizalla dinámico (DSR) • Valor de S y m mediante el reómetro de viga de flexión (BBR) • Composición del betún

c) Reutilización en planta del pavimento de asfalto recuperado (RAP)

El RAP es generalmente procesado por trituración (fresado), cribado y la colocación en pilas separadas, listo para ser utilizado como material constitutivo del asfalto, después de haber sido probado, evaluado y clasificado de acuerdo con las normas pertinentes.

El contenido de RAP de una mezcla puede definirse como la masa total de RAP expresada como un porcentaje de la masa total de la mezcla. Las limitaciones vienen determinadas por las propiedades del ligante virgen. El betún del RAP también puede clasificarse según los parámetros del grado de rendimiento (PG Grade) o por el punto de reblandecimiento. Con más de 15%, es necesario cribar y fraccionar el RAP.

Almacenar por separado el RAP de la capa de rodadura o de la capa de rodadura y de la capa intermedia. El RAP también debería almacenarse por separado en función del objetivo final de uso. La idoneidad de utilizar varios tipos de RAP se muestra en la tabla 2.

El asfalto recuperado se clasificará en función de los materiales que lo componen y de sus características de

rendimiento. Una de las características más importantes es la homogeneidad

La directriz para los ensayos sobre la calidad del árido recuperado de cada fracción de RAP se basa en el contenido de RAP y se presenta en la tabla 3.

La sustitución del betún de RAP es la base de la directriz para los ensayos sobre la calidad del betún recuperado, tabla 4.

El procedimiento para el estudio del RAP es, a grandes rasgos, el siguiente

- Moler la muestra de RAP del sitio designado.
- Procesar el RAP en al menos las fracciones mínimas requeridas.
- Determinar el rendimiento porcentual medio de cada fracción de RAP procesada.
- Realizar pruebas de contenido de betún en cada fracción de RAP.
- Realizar pruebas de clasificación de los áridos en cada fracción de RAP.
- Calcular la sustitución (nominal) del betún RAP que debe especificarse.

- Determinar las siguientes propiedades del betún recuperado RAP:
 - Punto de reblandecimiento y/o
 - Penetración y/o
 - Pruebas de betún PG (JNR, G*, , etc.).
 - Composición del betún
- Deben tomarse muestras representativas de RAP utilizando una fresadora

Cuando se utiliza el RAP de mezclas en las que se ha utilizado un betún modificado y/o un aditivo modificador, y/o la propia mezcla contiene un betún modificado o un modificador, la cantidad de contenido de RAP debe limitarse a un máximo del 20 % en masa de la mezcla total. En el caso de la adición de una gran cantidad de RAP, se pueden utilizar rejuvenecedores para restaurar las características del betún envejecido.

Se indica las fórmulas para conocer la penetración y el punto de reblandecimiento en el betún, indicando los ensayos de tipo y el diseño de la mezcla de trabajo cuando se use RAP.

Así se debe indicar:

- cada tamaño de árido: fuente y tipo
- el betún: tipo y grado,
- relleno: fuente y tipo,
- aditivos: fuente y tipo
- asfalto regenerado: declaración de la gama de propiedades admisibles y métodos de control además de todos los componentes.

De la formulación de la mezcla se facilitará:

- la composición del objetivo de entrada cuando se utilice la validación de laboratorio, destacando el porcentaje de cada uno de los agregados, la distribución granulométrica de la mezcla de áridos, el contenido de betún y el contenido de aditivos.
- las temperaturas máximas y mínimas de mezcla para las mezclas con betún modificado o duro o con aditivos
- temperatura de preparación cuando se añaden aditivos para reducir la temperatura de mezclado y de colocación.

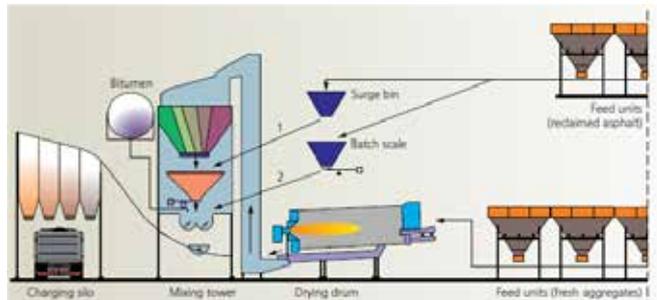


Figura 3. Planta de mezcla por lotes - calentamiento de asfalto recuperado con áridos calientes, adición por lotes (1: adición a la báscula de áridos; 2: adición a la mezcladora)

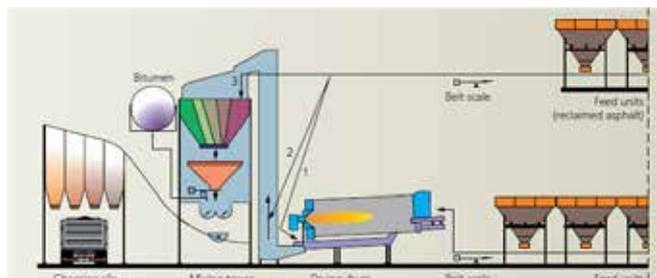


Figura 4. Planta de mezcla por lotes - calentamiento del asfalto recuperado por los áridos calientes, adición continua (1: adición a la salida del tambor de secado; 2: adición al elevador caliente; 3: adición al bypass de la criba)

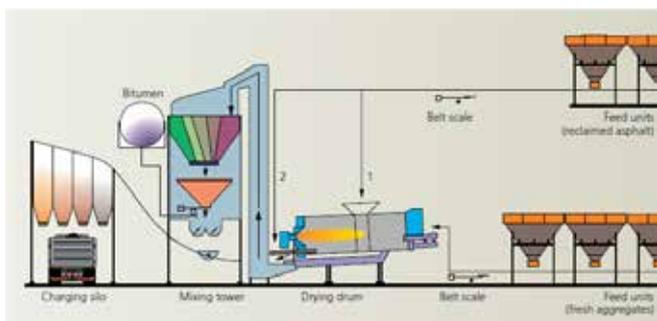


Figura 5. Planta de mezcla por lotes - calentamiento del asfalto recuperado junto con los áridos, adición continua (1: tambor de secado - sistema de alimentación central; 2: adición al tambor de secado a través de la pared frontal del lado del quemador).

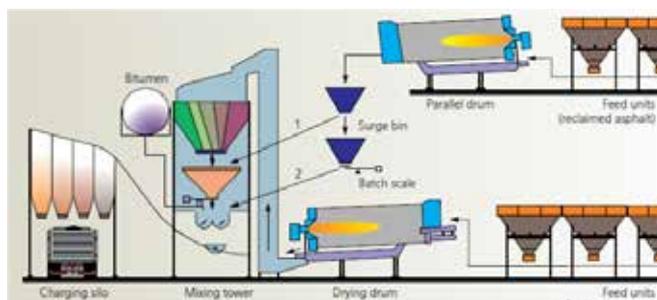


Figura 6. Planta de mezcla por lotes - Calentamiento del asfalto recuperado en un dispositivo separado (tambor paralelo) (1: adición a la báscula de áridos; 2: adición a la mezcladora)

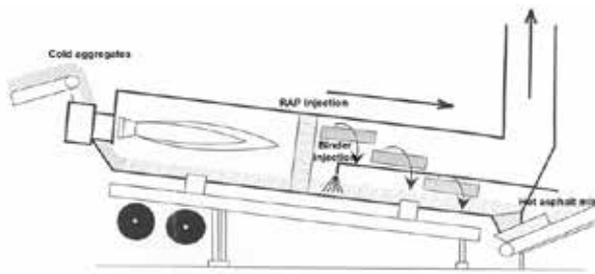


Figura 7. Tambor de calentamiento, secado y mezcla.

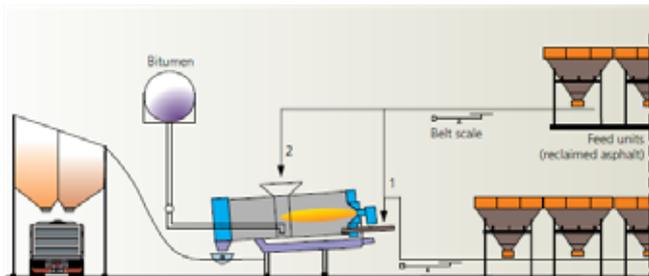


Figura 8. Planta de mezcla continua - calentamiento del asfalto recuperado junto con los áridos (1: adición junto con los áridos; 2: adición separada en el centro del tambor mezclador)

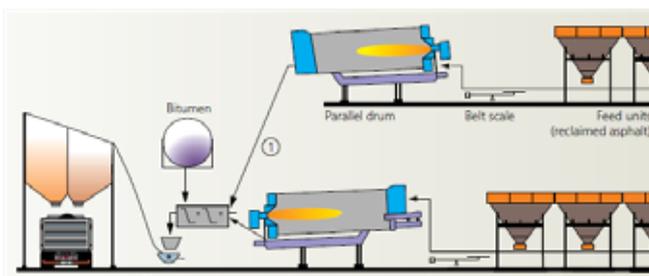


Figura 9. Planta de mezcla continua -Calentamiento del asfalto recuperado en el dispositivo separado (tambor paralelo) de la planta continua)

De las características de la mezcla asfáltica se facilitará la siguiente información:

- características volumétricas; y entre ellas el contenido de huecos de aire, los rellenos con betún y del contenido de huecos en un agregado mineral,
- sensibilidad al agua,
- resistencia a la deformación permanente,
- características funcionales sofisticadas destacando la rigidez, la resistencia a la fatiga y las propiedades a baja temperaturas.
- otras características relevantes en función del tipo de mezcla asfáltica

Entre los diferentes tipos de plantas mezcladoras de todo el mundo, se suelen emplear las discontinuas:

- Plantas discontinuas o de lotes con un tambor de calentamiento separado (adición en caliente),

- Plantas discontinuas o de lotes sin tambor de calentamiento separado (adición en frío),
- mezcladoras de tambor,
- plantas mezcladoras adecuadas para producir mezclas asfálticas en caliente a partir de casi el 100% de asfalto recuperado.

d) Reciclado de materiales en un pavimento de hormigón con mezclas realizadas en planta

Los áridos reciclados incrementan el interés en la economía circular, pueden utilizarse en toda la profundidad o pueden limitarse a la capa inferior de un pavimento de hormigón de dos capas, aunque solo se utilizan los gruesos para evitar consumo excesivo de cemento. Pueden ser:

- áridos de hormigón reciclado de alta calidad (RCA) o de calidad normal procedentes de residuos de construcción y demolición (CDW) o de bases y subbases.
- áridos reciclados procedentes de otros residuos minerales de la construcción
- áridos asfálticos reciclados (RAA o RAP)
- áridos artificiales.

En cualquier caso, hay que eliminar el recubrimiento asfáltico (si lo hay), el sellador de juntas y de los parches para minimizar los contaminantes y romper el pavimento al tamaño del material necesario, así como retirar las piezas rotas y organizar su transporte.

La demolición de estructuras de hormigón se realiza generalmente con martillos de impacto o martillos de resonancia.

Los pasos son trituración y clasificación (estando incluidos el pretratamiento, lavado, clasificación para eliminar contaminantes, ...), la calidad y uso del árido RCA ("trituración inteligente") y las características del RCA, en el que se incluye la tabla 6.3 de características con varios apartados de propiedades mecánicas y químicas con los valores umbrales de los áridos.

Hormigón con áridos reciclados

Indica que Las características de calidad de todos los materiales deben conocerse de antemano para cumplir los criterios de diseño y propiedades de la mezcla de hormigón, incrementándose la relación de agua y reduciéndose la resistencia a la compresión y el módulo. Los áridos finos o la arena no es recomendada por a su alta demanda de agua y a su efecto negativo en el rendimiento del hormigón.

El arte en la ingeniería. El caso particular de la carretera



Rafael López Guarga

Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón

Este artículo está basado en la charla impartida por el autor el 19 de abril de 2017 en el Ateneo de Zaragoza en el marco de la temática “Tertulia de Ingeniería Pedro Juan de Lastanosa”.

1. Introducción

Muchas veces se ha debatido sobre los antagonismos y los puntos en común que rebosan en dos de las ramas del conocimiento que más han hecho por la mejora, el confort y el bienestar de la humanidad como son la Arquitectura y la Ingeniería, destacando en este debate el objeto y el fin social de sus obras, su funcionalidad, su coste y como no el Arte que puede haber más o menos implícito en las mismas.

Algunas fuentes definen la arquitectura como el arte y la técnica de idear, proyectar y construir edificios y estructuras donde se puedan desenvolver las actividades humanas, modificando su hábitat, estudiando la estética, el buen uso, la función de los espacios, ya sean arquitectónicos o urbanos, y la durabilidad de los mismos, mientras que esas mismas fuentes definen la ingeniería como el arte y la técnica de aplicar los conocimientos científicos a la invención, diseño, construcción, perfeccionamiento y manejo de

máquinas, estructuras y otros entes, sistemas y procesos, considerando a la ingeniería civil (a lo largo del presente artículo nos vamos a referir a ella y concretamente a la de Caminos, Canales y Puertos) como la disciplina de la ingeniería que emplea conocimientos de cálculo, mecánica hidráulica y física para encar-



garse del proyecto, construcción y mantenimiento de las infraestructuras que transformarán las ciudades y el territorio. Como puede observarse en ambas definiciones se incluye el término “arte” pero de alguna manera queda claro que el mismo como fin no tiene igual sentido en cada uno de los conceptos.

Sin embargo, querríamos afirmar que el arte está en sí mismo en la naturaleza de las cosas y que es la mente, los sentidos, la imaginación y la subjetividad de las personas las que deben ser capaces de extraerlo de sus entrañas. La estética pertenece a los dominios de la filosofía, la fisiología y la psicología. Por ello, tanto la arquitectura como la ingeniería, valiéndose de la materia, son capaces de recrear los sentimientos, dando formas bellas a sus obras con una finalidad estética, sin dejar de cumplir el resto de los objetivos. De este modo podemos encontrar belleza y armonía en un edificio como puede ser el Palacio de Comunicaciones de Madrid pero también encontramos grandiosidad e inteligencia en el enlace del Puente Nampu de Shanghai. Todo ello se puede considerar arte. El bienestar humano, la alegría de vivir y la salud mental dependen fuertemente de las cualidades estéticas del entorno en que nos movemos.

Este arte puede quedar en evidencia en edificios singulares como podría ser el de la Pedrera de Barcelona, el del Mercado Central de Zaragoza o bien el de muchos de los edificios Renacentistas que pueblan nuestro país pero a veces puede ser fruto de un Conjunto que todo él configura el Arte como es el caso de la Plaza Mayor y la Gran Vía de Madrid, la vista de Manhattan en Nueva York o simplemente la de las Cuatro Torres (ahora cinco) en el Paseo de la Castellana también en Madrid.

Del mismo modo este Conjunto puede dar lugar a una Antítesis... como es el presentan determinados barrios de las grandes ciudades conformados por casas baratas y todas “iguales” con muy poca estética y calidad dando lugar a lo que se ha llegado a denominar Arquitectura Suburbial (bloques de Clichy-sous-Bois en París). Pero, ¿todo serían Antítesis?; creemos que no, pudiendo afirmar de la existencia de edificios, estructuras y conjuntos de ellos que por la propia idiosincrasia de los mismos y carácter diferencial, aunque por muchos criticados, pueden llegar a considerarse como obras de arte: Monumento a los caídos en Krusevo, Macedonia; Biblioteca Geisel de la Universidad de California, San Diego; Torre de agua Midrand, Johannesburgo, Sudáfrica; ...)





2. Obras de los ingenieros

Hasta finales del siglo XVIII no había una distinción clara entre los cometidos de lo que podría denominarse arquitectura o ingeniería, existiendo una cierta relación de consanguinidad entre ambas, aún es más gran parte de los importantes edificios construidos hasta aquella época lo fueron de manos de los Ingenieros Militares, pudiendo citar como muestra de los mismos el Palacio Rajoy en Santiago de Compostela, la Real Fábrica de Tabacos, hoy sede del rectorado de la Universidad de Sevilla y el Colegio Anaya de la Universidad de Salamanca. Algunos incluso fueron meros emprendimientos empresariales.

Sin embargo, en febrero de 1758 había nacido en Tenerife, Agustín de Betancourt, quien ya desde niño reveló su interés por las ciencias exactas, por la técnica y por el arte. Ingresó en los Reales Estudios de San Isidro en Madrid donde aprendió las diferentes materias que conforman la ingeniería para después ser formado intelectualmente en Francia e Inglaterra, estrechando grandes contactos con hombres de ciencia e ingenieros, de marcado carácter europeo de su época, pegado a las oficinas públicas y a las grandes instituciones estatales.

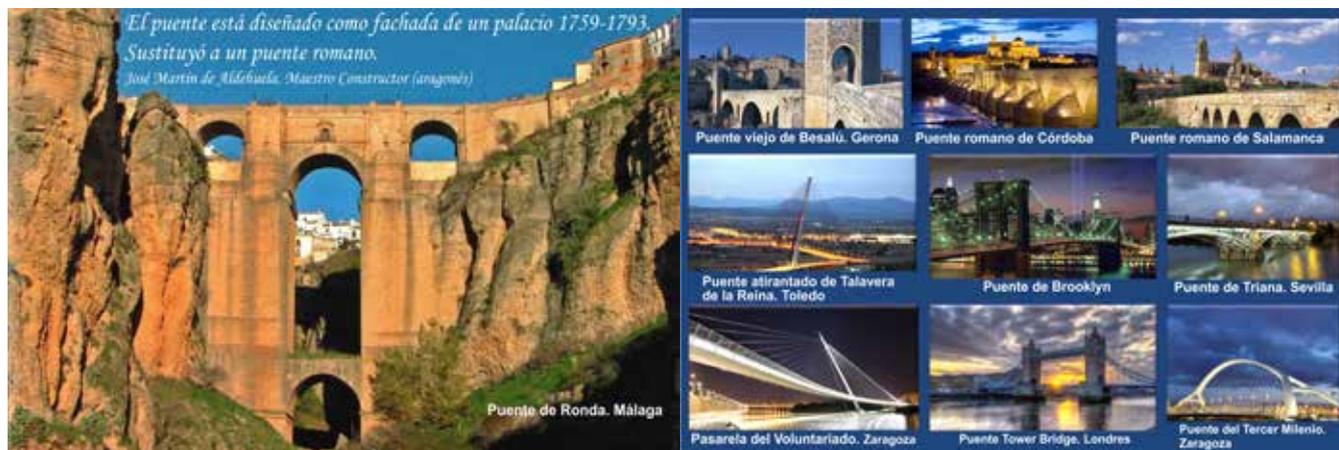
Según parece, el dibujo era una de sus pasiones más fuertes por lo que en 1779 ingresó en la Academia de Bellas Artes. En base a sus experiencias desarrolladas en su estancia en Londres donde convivió con ingenieros, mecánicos, obreros especializados y pequeños fabricantes regresó a España ocupando un puesto en la denominada "Inspección de Caminos" en la que le surgió la iniciativa de fundar un Cuerpo de "Caminos y Canales" de modo que se pudiera diferenciar el trabajo de los ingenieros militares y navales, dedicándose éstos a la fortificación, levantamientos topográficos y construcción naval, dejando las labores de construcción de ca-

minos y obras hidráulicas a los ingenieros de caminos. Posteriormente, en abril de 1802, cuando solo habían pasado diez años desde su construcción, el desastre del derrumbe de la presa de Puentes de Lorca que causó más de 600 muertos hizo poner en entredicho la labor de algunos técnicos academicistas de la época y supuso el arranque de la Escuela de Ingenieros de Caminos pasando las obras públicas a depender de los profesionales que allí se formaban. Las materias que se impartían abarcaban fundamentalmente conocimientos hidráulicos y matemáticos, construcción práctica, geometría y mecánica, dibujo y diseño arquitectónico.

Sobre el terreno, los ingenieros se encargan de la construcción y el mantenimiento de carreteras y estructuras, de la adjudicación de contratos relacionados con ellas y de la elaboración de mapas y planos, considerándose hasta entonces los caminos adoquinados como trabajos de arquitectura, llegándose a denominar a veces como de "monumentales".

Después de todas estas vicisitudes y con el paso de más de dos siglos, los Ingenieros de Caminos han realizado a lo largo y ancho de todo el mundo innumerables obras de todo tipo intentando dejar siempre la "huella o firma" de sus pasos, que como ya se ha dicho muchas veces han sido discutidas.

Algo similar ocurre en otras especialidades de la ingeniería. Valga como ejemplo el de la Central Térmica del Besós gran obra de ingeniería industrial que con todos sus pros y contras ha marcado el paisaje de ese territorio durante décadas de manera que forma parte del mismo, habiéndose convertido en un verdadero valor patrimonial a conservar, muestra del desarrollo industrial de la economía española en la década de los 60. En la actualidad las tres chimeneas de la Central se han convertido en un símbolo.



Los puentes además de ser una obra de paso también muchas veces son obras de arte

3. Los puentes

Los puentes además de ser una obra de paso también muchas veces son una obra de arte. Por ejemplo, el puente de Ronda en Málaga, que sustituyó a un puente romano, está diseñado como fachada de un palacio 1759-1793, obra del Maestro Constructor aragonés José Martín de Aldehuela.

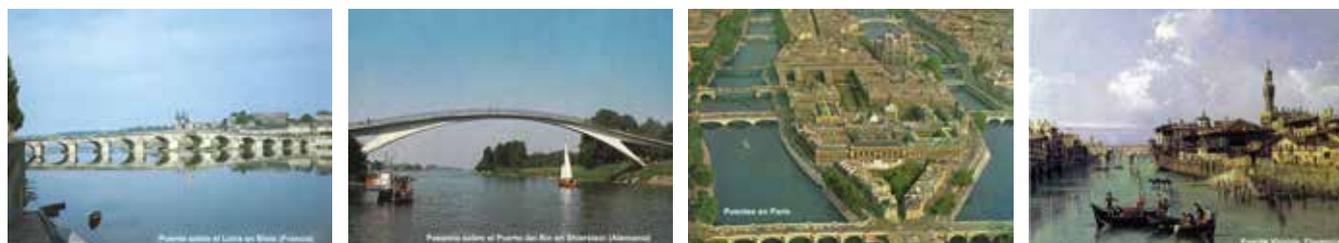
En nuestra época, en la que se ha desarrollado un escepticismo, incluso hasta una aversión, respecto a la tecnología moderna, es particularmente importante que los técnicos especialistas se esfuercen en diseñar, dentro de lo posible, estructuras estéticamente agradables y convincentes a fin de luchar activamente contra ese malestar, que desgraciadamente en parte es justificado.

En general se construye con un determinado fin debiendo cumplir su función de una manera óptima. Un distintivo importante de la belleza de una construcción lo constituyen unas proporciones armónicas adecuadas, incluso, en el espacio tridimensional, pero es que además, una norma importante de la construcción es el orden, limitando el número de direcciones en el espacio. Los volúmenes formados por líneas rectas paralelas presentan con frecuencia un aspecto excesivamente rígido y originan efectos ópticos desagradables. En un viaducto que cruce un valle las luces deberían irse reduciendo al aproximarse a las laderas. En definitiva, es necesaria

además la integración de la obra en el entorno, en el paisaje o en la ciudad, adquiriendo un carácter que influya en la gente en un sentido determinado.

Así pues, con estos parámetros nos encontramos con una gama de puentes de lo más variado: puentes de arco, puentes en arco de fábrica de piedra natural, puentes en arco de hormigón armado o metálicos, puentes de vigas de canto constante o variable, viaductos, puentes atirantados, puentes colgantes, ..., de modo que las características de su diseño solo pueden ser tratadas de la mano de ilustraciones y reproducciones fotográficas. Así podemos presentar como ejemplos el puente viejo de Besalú en Girona, el puente romano de Córdoba, el puente romano de Salamanca, el puente atirantado de Talavera de la Reina en Toledo, el puente de Brooklyn, el puente de Triana en Sevilla, la pasarela del Voluntariado en Zaragoza, el puente Tower Bridge de Londres, el puente del Tercer Milenio en Zaragoza, los puentes sobre el río Sena en París, el puente Vicchio en Florencia, el puente sobre el Loira en Blois (Francia), la pasarela sobre el Puerto del Rin en Shierstein (Alemania), ...

Pero, ¿cómo diferenciar la Arquitectura de la Ingeniería?, ¿dónde acaba una y empieza otra?. Como dice Eduardo Mangada, la infraestructura es lo de fuera, lo público; la arquitectura es lo de dentro, lo interno. La infraestructura es el movimiento, el ruido; la arquitectura es la quietud, el silencio.



Puente sobre el Loira en Blois (Francia); Pasarela sobre el Puerto del Rin en Shierstein (Alemania); Puentes en París; Puente Vicchio en Florencia

4. Y la carretera...

D. Ramón Menéndez Pidal afirmaba lo siguiente: “*La historia de la humanidad es la historia de los caminos y siempre éstos han cumplido análogas funciones en relación con el desarrollo y las tecnologías. Las civilizaciones y la barbarie se sirven de los caminos, sin los cuales no se concibe su expansión. Rastro del paso del hombre fueron los primeros caminos; rastro de la historia son al fin y al cabo todos los caminos*”.

Por todos son conocidos los importantes vestigios de calzadas que nos legaron los romanos, muestra de las cuales es rica la Península Ibérica pero también otros países europeos y del mundo que conformaron el Imperio, pasando posteriormente a un oscurantismo medieval carente de muchas de las necesidades básicas para el bienestar social, entre ellas las comunicaciones. Más de un milenio después de su abandono, las calzadas romanas son las que inspiraron y alimentaron las teorías sobre la carretera. Habría que esperar a la Ilustración para que comenzase el cambio, basándose todos los planes en la antigua red de calzadas romanas, renaciendo grandes proyectos viales y considerándose la construcción de carreteras como un importante ámbito de actividad. Se alimentan las teorías arquitectónicas sobre las carreteras, rigiéndose por una serie de decretos y ordenanzas que recomiendan la rectitud del trazado, unos anchos mínimos de calzada, la sistematización de las plantaciones e incluso la jerarquización y la clasificación de la red. Pero realmente lo que podríamos llamar “modernización” llegó sobre los años 1850 con la técnica de pavimentación de las carreteras ideada en Gran Bretaña por John Loudon McAdam, sistema rápidamente extendido por gran parte de las carreteras de Europa y Estados Unidos.

Cada obra es una actuación humana que transforma el sitio en lugar. Cambia el emplazamiento, de carretera al territorio, lo modula, lo organiza y lo vertebra.

El arquitecto Julio Cano Lasso (1920-1996) hizo la siguiente reflexión: “*En la actualidad, las obras públicas son los grandes monumentos, por la escala y por su vinculación con la naturaleza. Las autopistas, puentes, viaductos, chimeneas de centrales térmicas, son los monumentos de nuestro tiempo, cuando ya no se construyen catedrales*”.

Cuando abordamos el proyecto de una carretera debemos de estudiar el problema que se quiere resolver, por lo que es preciso recopilar los datos necesarios, plantear una serie de posibles soluciones (siempre existen varias) y realizar un análisis de cada una de ellas, estableciendo su idoneidad y estudiando los problemas a corto y largo plazo que conllevarían llevarlas a cabo.



Mejora del eje transversal en C-25 (Cervera, Lérida)



Autovía de Leizarán (Guipúzcoa - Navarra)

El trazado constituye la primera toma de contacto de la carretera con el mundo físico en el que se va a integrar, le confiere una “personalidad” determinada, gestiona la calidad de la vía e influye en factores medioambientales, socioeconómicos y políticos, por lo que debe decidirse el más apropiado en base a determinados parámetros: puntos de paso obligados, uniformidad y visibilidad, monotonía, zonas protegidas, armonía planta-alzado, costes, ...

Las infraestructuras no son un fin en sí mismas, son un medio para alcanzar otros objetivos. El destino de la obra, la utilidad, la solidez y la economía, suelen ser, por regla general, las únicas preocupaciones del Ingeniero pero debería de mostrar otra cualidad tan esencial y preferente como las demás que es la “belleza”.

El mayor grado de belleza lo encontramos siempre en la naturaleza, en una variedad de formas y colores tal que el respeto y la admiración dificultan cualquier inicio de análisis. Del conocimiento de la belleza de la naturaleza debemos extraer la necesidad de cederle más espacio en nuestro entorno, debiendo estar esta premisa muy presente cuando construimos una carretera o autopista. Sin embargo, no basta con esto para la construcción de obras bellas. El proyectista deberá poseer imaginación, intuición y sentido de la forma que aunque para algunos sean dones naturales deben ser educados y ejercitados. El hecho de proyectar debe iniciarse siempre en un espíritu de libertad individual, que posteriormente se ve restringida por muchos condicionantes funcionales, por las limitaciones que impone la ubicación y por las correspondientes normativas, tan restrictivas frecuentemente. Como dice Javier Rui Wamba, *“muchas veces estamos tan sometidos a la dictadura de las normativas que para llevar a cabo una actuación determinada es obligatorio su incumplimiento, eso sí bajo la responsabilidad del proyectista”*. No obstante, las normas proporcionan un mejor punto de partida y ayudan a un examen autocrítico del proyecto. Cuando hay más de una posibilidad de trazado, es importante comparar las ventajas y los costes de cada una, y si la opción más bonita no es la más cara, o incluso si excede ligeramente el coste de la otra, siempre debe preferirse.

4.1. Los Puentes, los Túneles y las Estructuras

En el desarrollo del Proyecto se deberá prestar una especial atención a la integración de los viaductos, túneles, puentes y demás obras de paso. Podemos decir que fue España país puntero en construcciones de puentes antiguos, desde las primeras fábricas, en tiempo de Cayo Julio Lacer en época del emperador Trajano, haciendo famosa la inscripción que nos dejó en el puente de Alcántara “PONTEM PERPETUI MANSVRVM IN SECVLA MVNDI”.



A finales del siglo XVIII con la aparición del hierro y a finales del XIX con la aparición del hormigón se produjo un desarrollo espectacular en la manera de concebir y construir los puentes, con importantes maestros y realizaciones en todo el mundo. Actualmente estamos en un periodo de transición, de heterodoxia en el arte de construir puentes, tal y como afirma Javier Manterola, *“entre el apogeo de la construcción con hormigón pretensado y la construcción mixta y aquel otro en que aún los nuevos materiales y las formas derivadas de su utilización no ha abierto el camino de lo nuevo”*.





Viaducto de Albetososa.
Autovía A-23. Teruel



Viaducto de Millau
Francia



Viaducto de Sigües
Autovía A-21. Zaragoza



Viaducto de Montanliz.
Autovía A-67. Cantabria



Viaducto de Fanlillo.
N-260. Sabiñanigo-Fiscal



Viaducto de Tiermas.
Autovía A-21. L.P. Zaragoza/Navarra

4.1.1. Puentes y Viaductos

Cuando se deba construir un puente y/o viaducto debe realizarse una selección previa de las tipologías y de las características estructurales, definiéndose la luz total del puente, las dimensiones y altura de los estribos y el número y separación entre pilas, debiendo minimizar el número de éstas y la ocupación física de las márgenes de las riberas de los ríos. Así mismo debe tenerse en cuenta la solución para la transición entre puente – túnel – desmonte/terraplén y la restauración del entorno y de la vegetación afectada. Por último, es preciso también tener en cuenta la previsión de las medidas auxiliares y los accesos para llevar a cabo la construcción.

4.1.2. Túneles

En general la disposición de los túneles se suele acometer para resolver problemas de una orografía abrupta y accidentada, atravesar cadenas montañosas, salvar cuencas hidrográficas o resolver determinados problemas urbanos y ambientales. Con ello se consigue respetar el entorno y el medioambiente, mejorar la seguridad en la circulación, hacer el trayecto más cómodo, mejorar las comunicaciones y obtener un ahorro energético, aunque también se presentan ciertos inconvenientes como son encontrarse en un espacio cerrado y ser más difícil la evacuación en caso de accidente, principalmente si hay un incendio, dificultando la intervención. En la construcción de un túnel hay que tener muy presente la seguridad que está íntimamente relacionada con la

obra civil, las instalaciones y la conservación y explotación.

Cuando sea necesaria la construcción de un túnel será preciso llevar a cabo un estudio previo de las tipologías y emboquilles más adecuados teniendo en cuenta la geología y geotecnia, la orografía y la naturaleza del entorno. El emboquille de un túnel es una de las partes más críticas y sensibles de su construcción y la que más afecta al medioambiente por lo que para ello es muy importante escoger el lugar adecuado, debiendo además estudiar y definir sus accesos provisionales o definitivos adoptando las medidas de seguridad precisas. Al igual que en el caso de los viaductos hay que analizar la transición túnel – viaducto y del túnel con continuidad de un tramo en desmonte o terraplén.

Los emboquilles, que una vez construido el túnel, por muchos son llamados portales de entrada o bocas, son uno de los puntos más singulares para el usuario, no solamente porque al haber un cambio en la tipología de la carretera puede ser un punto que puede afectar a la seguridad por salida de la vía, sino porque de alguna manera se accede a lo desconocido. Por ello es muy importante dotar a este portal de una singularidad que lo identifique. Ello puede conseguirse simplemente dotando al terreno de una transición suave de la inclinación del talud que hace de frente de emboquille, lo que sería siempre ideal para una menor afección ambiental al mimetizar con el terreno pero que muchas veces no es posible por entrar a través de una “pared” muy vertical o ser necesario prolongar



Túnel de San Simón.
A-2. Fraga, Huesca



Túnel de Campo.
Huesca



Túnel de Petralba.
N-620. Sabiñanigo-Fiscal, Huesca



Túnel de Nueno.
Huesca



Túnel M-111.
Madrid Aeropuerto



Túnel de Cantalobos.
Granada

el túnel hacia el exterior mediante una estructura o túnel artificial lo que no siempre es recomendable si la longitud es excesiva. En estos casos se recomienda dotar al portal de algún elemento estructural que trate de dar una “personalidad” al túnel bien “arropando” el entorno y “abrazando” al terreno, bien para incorporar en un conjunto las diferentes obras estructurales que haya sido preciso acometer para alcanzar la estabilidad de los taludes, bien para fijar la visual del usuario en un elemento nuevo que permita “tapar” determinados desperfectos orográficos o simplemente como un elemento escultórico que permita la identificación del túnel. A veces también se hace para integrar el propio centro de control del túnel.

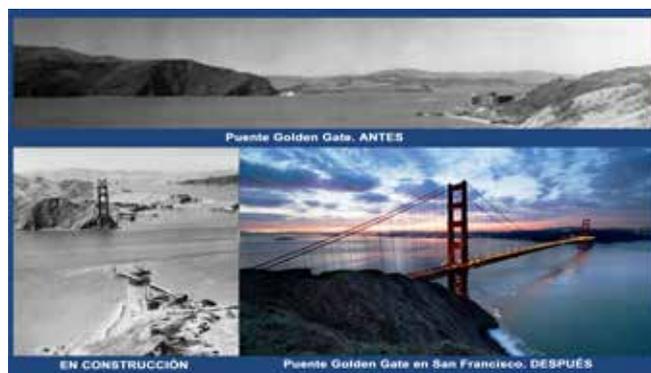
Además, no solo es precisa la integración de la entrada, sino que todo el túnel ha de crear un entorno amable y confortable y con una sensación de seguridad similar a la de la carretera a cielo abierto. Ello se consigue mediante el diseño e implantación de instalaciones que permitan alcanzar unos niveles adecuados de ventilación, opacidad, visibilidad e iluminación.



5. Los conflictos medioambientales

Algunas infraestructuras se identifican más por los problemas que crean que por lo que resuelven. La decisión sobre la necesidad o geometría de una infraestructura se llega a plantear como una guerra de bandos. Por ello hay que hacer un gran esfuerzo de comunicación, promover el diálogo y el debate amplio, riguroso y sincero. Hay que evitar comprometerse emocionalmente con el tema ambiental y no ser alarmista, evitando así informaciones a veces injustas. Las alegaciones deben darse a conocer una vez hayan sido verificadas para evitar una nueva “forma de contaminación”, como podría ser la contaminación informativa.

Hay obras que en su momento ocasionaron un impacto considerable pero que después se han convertido por sí mismas en elementos a proteger como por ejemplo el puente Golden Gate en San Francisco y sin embargo otras se realizaron en su día pero que hoy serían “imposibles” como son las canteras abiertas en las Médulas.



Antaño, cuando circulábamos por las carreteras, antes del importantísimo plan de modernización de nuestras vías de comunicación a partir de las décadas de los años 80 y 90 en que se procedió a extender la red de autopistas y autovías del país, bien mediante nuevos trazados o por “duplicación” de los existentes, recorrer cualquier itinerario era una verdadera escuela para el conocimiento de la geografía, la arquitectura, el paisaje, las costumbres, la gastronomía, ... de todos aquellos lugares por los que discurría. ¿Cuántas travesías nos invitaron a detenernos y así conocer pueblos que en ningún otro momento se nos hubiera ocurrido visitar?, ¿cómo hemos disfrutado de cantidad de parajes a los que se tuvo acceso gracias a la inmediatez y facilidad para hacerlo? Ahora con las exigencias de los nuevos trazados, con características geométricas muy generosas de alineaciones en planta y alzado que permiten circular a mayores velocidades y con mejores garantías de seguridad, las carreteras se han separado de los accidentes geográficos y asentamientos de población con el diseño y disposición de amplias variantes que alejan la vía de estos condicionantes o bien los salvan con la construcción de grandes viaductos y túneles, es decir se ha “perdido” la proximidad con el territorio e incluso ha variado la percepción respecto de él. ¿Quién no ha tenido una percepción distinta por ejemplo de la panorámica de la ciudad de Burgos cuando ahora se circula por una vía mucho más alejada?, ¿cómo ha cambiado la idea que se tenía de un paisaje o de una determinada formación montañosa cuando al circular por nuevos trazados se ha modificado su perspectiva?

El impacto que puede producir una nueva carretera en el paisaje debe considerarse desde el planteamiento preliminar de la vía, a través del análisis de sus caracte-



Viaducto de Lueg en la autopista de Brennero (Italia)

rísticas y de la morfología del entorno, cursos fluviales, masas de agua, accidentes notables, etc. Se tratarán de aprovechar los elementos paisajísticos del corredor y los demás factores ambientales, pensando asimismo en los usos potenciales del suelo. Como dice Fernando García de Cortazar “el paisaje es historia, evoca las sombras del ayer y la memoria del país que somos” motivo por el que debemos “protegerlo” siempre. El paisaje natural es un bien público por lo que cualquier actuación sobre él debe preservar su belleza, integridad y estabilidad (en palabras de Aldo Leopold).

Disfrutar de una carretera implica no sólo gozar del paisaje sino también sentir y experimentar el entorno por el que se circula. Es imprescindible la integración del trazado en el territorio para fortalecer la identidad del lugar, evitando su efecto perturbador, lo que implica una armonía entre la geometría de la carretera y del terreno por donde discurre.

Los nuevos itinerarios de largo recorrido han mejorado considerablemente las comunicaciones con importantes reducciones de tiempo y de accidentalidad, pero



Arqueros. N-123 (Huesca)



Escultura del Rey Alfonso I de Aragón. N-240 (Huesca)



Escultura en honor al Rey Gonzalo de Ribagorza. N-260 (Huesca)



Meridiano de Greenwich. AP-2 entre Bujaraloz y Peñalba (Zaragoza)



Estrellas mudéjares. Puerto de Paniza. A-23 (Zaragoza)



San Jorge y el Dragón. A-23 (Huesca)



Área de descanso de Utsikten. Noruega



Área de descanso en la ruta entre Geiranger y Eidsdal. Noruega



Área de descanso junto al puente sobre el río Alcanadre. N-240 (Huesca)



Área de descanso Junto al puente Las Pilas. N-123 (Huesca)



Área de descanso de Villanúa. N-330 (Huesca)

han perdido su identidad. Por ello supone una muy buena práctica dotar a aquellos tramos singulares por los que se vaya atravesando, viaductos, túneles, enlaces, obras de fábrica, ... de elementos identificativos para que llamen la atención y permitan fijar imágenes para que con el paso del tiempo se puedan recordar estos hitos y relacionarlos con los diferentes territorios, siendo además recomendable su relación con ellos.

Muchas veces para poder disfrutar de la propia infraestructura y del paisaje es conveniente disponer de

áreas de descanso y miradores que además de cumplir su función de hacer un alto en el camino permiten observar la belleza de lo construido, que de otra manera pasaría desapercibido.

Otra forma de inserción de las infraestructuras viarias en el paisaje es intentar mimetizarlas con él mediante la construcción de muros verdes, reperfilado y tendido de los taludes, canalización de los cursos de agua, siembra de especies autóctonas, recuperación de vertederos, drenaje de los terraplenes y de las laderas, ...



Autovía de Leizarán. Guipúzcoa - Navarra



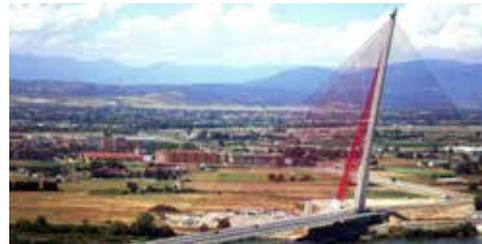
Puente del Tercer Milenio. Zaragoza



Barrera acústica en Nieuwe Leeuwarderweg en Amsterdam



Nuevo viaducto de Teruel



Puente atirantado. Talavera de la Reina

Y por último, la carretera también integra la ciudad haciendo que su paso constituya un verdadero elemento de referencia, permitiendo un uso más cercano para el ciudadano del que a su vez debe de quedar protegido.

6. Conclusión

Para concluir simplemente una referencia a las palabras del filósofo Emilio Lledó que se adhiere al comentario que hace Platón en sus Diálogos *“La belleza es algo difícilísimo”*, pero da algunas pistas para comprenderla ya que dice *“es algo que conviene, que es útil, que tiene posibilidad de trascender y provocar el bien a la vez que es causa de felicidad, algo que nos empuja y anima. Es, por tanto un proyecto ideal, un camino y una lucha”*. Por ello, *“se precisa educar la mirada a través de la belleza de las cosas y ese proceso comienza cuando los autores de las obras las sientan y las amen, cuando se humanicen profesionalmente”*

7. Bibliografía

- [1] Alonzo, Éric; *“L’Architecture de la voie. Histoire et théories”*. 2018
- [2] Alzola Cerero, Pablo; *“La estética de las Obras Públicas”*. 1993
- [3] Arenas de Pablo, Juan José; *“Los puentes en la Baja Edad Media”*. 1995
- [4] Bogoliúbov, Aléksei; *“Un héroe español del progreso: Agustín de Betancourt”*. 1973
- [5] Daroca Santos, Félix y Sola Alonso, José Ramón; *“El puente colgante de Valladolid”*. 2017
- [6] Juncá Ubierna, José Antonio; *“El Túnel. Historia y Mito”*. 1991
- [7] Leonhardt, Fritz; *“Ponts/Puentes”*, 1982
- [8] López Guarga, Rafael y Binué Fabós, Arturo; *“El paso por el Alcanadre, entre Angüés y Lascellas”*. 1990
- [9] Martín Antón, Mario, Negro Valdecantos, Vicente y otros; *“El impacto de las obras públicas en España: paisaje natural, paisaje construido y paisaje destruido”*. 2016
- [10] Monográfico *“El Diseño en la Obra Pública”*. Revista de Obras Públicas. 2021
- [11] Moreno Gallo, Isaac; *“Vías Romanas. Ingeniería y Técnica constructiva”*. 2006
- [12] Nárdiz Ortiz, Carlos; *“El Paisaje y la Ingeniería”*. 2019
- [13] PIARC Committee on Road Tunnels; *“The First Road Tunnel”*. 1995
- [14] Plasencia Lozano, Pedro; *“Apuntes sobre la relación entre la obra pública y el paisaje”*. 2017
- [15] Ritzler, Per; *“Ruta Turística Nacional. Geiranger – Trollstigen en Noruega”*. 2017
- [16] Rui-Wamba Martija, Javier; *“La carretera y el Medioambiente. Diez últimos años de experiencia”*. 1996
- [17] Rui-Wamba Martija, Javier; *“Puentes. Compatibilidad entre Estética y Funcionalidad”*. 1999
- [18] Silva Suárez, Manuel; *“La institucionalización de la ingeniería moderna, un legado de las Luces”*. 2017
- [19] Yepes Piqueras, Victor; *“Los despropósitos, un tinereño y la Ilustración alumbraron al ingeniero de caminos”*. 2015. ❖

XVIII Premio Nacional ACEX a la Seguridad en Conservación

El 22 de junio de 2022, la Asociación de Empresas de Conservación Explotación e Infraestructuras (ACEX) celebró la entrega del XVIII Premio Nacional ACEX a la Seguridad en Conservación. A esta decimoctava edición se han presentado 22 candidaturas, 9 en categoría general y 13 en asociados.

El acto contó con una mesa presidencial de excepción, en la cual participó el secretario general de Infraestructuras del MITMA, Xavier Flores, del director general de la DGT, Pere Navarro, y del director de Carreteras, Javier Herrero. Además del presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y representantes del INSST y del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas.

El objetivo de este premio es promover la cultura de la seguridad, tanto laboral como vial, en los trabajos de conservación y explotación de infraestructuras, incentivar a los asociados, y al sector en general, a la investigación y buenas prácticas, en materia de seguridad, contribuir anualmente con este "granito de arena" en la disminución de la lacra social que constituye la falta de seguridad y reconocer públicamente, los méritos y esfuerzos de todos aquellos trabajadores, empresas y administración que hayan desarrollado actividades con destacadas consecuencias positivas en el ámbito de la seguridad en la conservación y explotación de infraestructuras.

Ganadores XVIII edición

CATEGORÍA ASOCIADOS. PREMIO JESÚS VALDECANTOS

PROYECTO: BALIZA LÁSER GUÍA
EMPRESA: UTE Manzanares II (Audeca y Visever)



LÁSER GUÍA es una baliza luminosa compuesta por un láser y un pequeño panel direccional led, que proyecta una línea roja en el pavimento, con el objetivo de transmitir al conductor la percepción de una barrera continua entre conos que delimitan el área de trabajo en carreteras. La propuesta presentada responde a la necesidad de mejorar la señalización de obras en condiciones de baja visibilidad.

CATEGORÍA GENERAL

PROYECTO: BALIZAMIENTO LÁSER AXM16
EMPRESA: Tecnivial



Sistema de Balizamiento Láser para carreteras, que mejora la seguridad en la conducción en condicio-

nes de visibilidad reducida (niebla, polvo, humo...), permitiendo ver el contorno de la calzada y alertando frente a posibles colisiones por alcance, más allá de donde la reducida visibilidad permite ver otros objetos. Esto se consigue mediante la activación de un haz láser que marca el contorno de la calzada.

Mención Honorífica Luis Antona

Mención Honorífica Luis Antona de la Junta Directiva de Acex 2022, para D. Jerónimo Rodríguez Parra, operario de conservación de carreteras. Por su atención a un conductor gravemente herido, que excede su cometido como operario, demostrando una enorme humanidad y un gran compromiso con la seguridad en la carretera.



Los hechos ocurrieron el 24 de noviembre de 2021, cuando, en la A-49 (Huelva), se produjo un incendio de un vehículo con su conductor dentro. Una vez rescatado el herido, con graves quemaduras, la principal función de D. Jerónimo fue trasladarlo al hospital y mantenerlo consciente hasta su llegada al centro hospitalario. ❖

Jornada Técnica Impermeabilización de Tableros de Puentes de Carretera



Madrid, 26 de abril de 2022

El pasado 26 de abril se celebró, con aforo prácticamente completo, en el Colegio de Ingenieros de Caminos de Madrid una jornada técnica sobre Impermeabilización de tableros de puentes de carreteras.

Con la acreditación se repartió un ejemplar del documento elaborado por un grupo de trabajo del mismo nombre, integrado el comité de puentes de ATC: IMPERMEABILIZACIÓN DE TABLEROS DE PUENTES DE CARRETERAS.

Hoy día es muy importante proyectar los puentes con un buen sistema de evacuación de agua y una adecuada impermeabilización, según la zona donde se encuentre la estructura. Se han producido grandes avances técnicos en este senti-

do, y conviene conocerlos con detalle al proyectar, construir y conservar estructuras.

A lo largo de la jornada se expusieron los distintos capítulos en que se estructura el libro por algunos de los miembros del grupo de trabajo.

Una de las novedades que aporta este trabajo es la propuesta de tipificación de las prestaciones que debe cumplir un sistema de impermeabilización, en aras de que la selección de un sistema y su comparativa con productos existentes en el mercado se realice de una forma rigurosa y objetiva, evitando escoger en función del precio o de argumentos subjetivos, que desgraciadamente ha sido la tónica habitual hasta la fecha. Esta iniciativa se plantea como un punto

de partida que se debe ir ajustando con el uso, por parte de proyectistas, aplicadores, contratistas y direcciones de obra.

Otra de las novedades aportadas es la recopilación de casi todos los distintos sistemas de impermeabilización existentes (los sistemas de impermeabilización están en constante evolución, por lo que lo normal es que en poco tiempo aparezcan en el mercado otras alternativas), indicando sus principales características y sus puntos débiles, para encontrar su mejor campo de aplicación.

Igualmente se incluyen en el texto directrices sobre la ejecución y el control de calidad de los distintos sistemas existentes, que no son solo fundamentales, sino cruciales.

Sin una rigurosa puesta en obra no habrá merecido la pena comprar ningún sistema del mercado. Sobre este aspecto se insistió en la Jornada en la importancia de considerar los condicionantes de un puente sobre el que se quiere ejecutar una nueva impermeabilización: muchas veces no se trata de escoger el mejor sistema desde el punto de vista de su vida útil, capacidad frente al agua o las acciones y ataques químicos, sino de las circunstancias de cada caso. Si no se dispone de suficiente tiempo para ejecutar las distintas partes de un sistema de impermeabilización o las condiciones climáticas impiden cumplir con unos estrictos requisitos de contenido de humedad, tal vez haya que optar por un sistema menos 'prestacional', pero cuya ejecución quede correctamente hecha.

A última hora de la mañana tuvo lugar una mesa redonda con los Subdirectores Generales de Construcción, de Proyectos y de Conservación de la Dirección General de Carreteras del MITMA y la Subdirectora de Conservación y Explotación de la DGC de la Comunidad de Madrid. Se puso de manifiesto la necesidad de definir mejor las especificaciones de proyecto en el campo de la impermeabilización de estructuras y de sistemas de drenaje, además de realizar más control en construcción. En conservación el compromiso fue intentar proyectar y realizar este tipo de actuaciones de impermeabilización con los proyectos de rehabilitación de firmes, además de seguir actuando en puentes de manera singular y con el mantenimiento básico.

Estamos ya en el siglo XXI, el siglo de la transformación verde de la economía, y el de la transición ecológica del sistema productivo; hacia lo digital, hacia lo sostenible, por tanto, hay que hacer posible que nuestras estructuras envejecan despacio y sean durables. ❖



Inauguración de la Jornada, de izquierda a derecha, Álvaro Navareño, presidente del comité de Puentes de la ATC, Charo Cornejo, presidenta de la ATC, Gonzalo Arias, coordinador del grupo de trabajo.



Mesa Redonda compuesta por, de izquierda a derecha, Alvaro Navareño, S. G. de Conservación de la DGC (MITMA), Camino Arce, S. G. de Construcción de la DGC (MITMA), Charo Cornejo Directora Técnica de la DGC (MITMA), Rosalía Bravo S. G. de Proyectos de la DGC (MITMA) y Belén Peña Sanz, S. G. de Conservación y Explotación de la DGC (Comunidad de Madrid)



IMPERMEABILIZACIÓN DE TABLEROS DE PUENTES EN CARRETERA

Disponible en:

www.atc-piarc.com/publicaciones_catalogo.php

Jornada Técnica

Ventilación y Gestión de Túneles



Madrid, 18 de mayo de 2022

El pasado 18 de mayo se celebró en el salón de actos del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos una Jornada sobre “Ventilación y Gestión de túneles de carretera” cuyo objetivo fundamental fue la presentación de los documentos funcionales de “Recomendaciones para la Normalización de los equipos de ventilación” y de “Recomendaciones para la Normalización de Controladores Remotos” redactados por el Comité de Túneles de la Asociación Técnica de Carreteras, ATC.

Con las Recomendaciones de estos documentos se pretende definir las características funcionales de los diferentes equipamientos que garanticen su operatividad, que cumplan con unas características y valores concretos y que se normalice su integración en el sistema de control (señales, protocolos, algoritmos, ...) para evitar protocolos propietarios entre dispositivos. Con ello se pretende alcanzar unas mejores

condiciones de explotación, de seguridad para los usuarios, de reducción de los costes asociados al consumo energético y de optimización de los recursos para garantizar un mejor mantenimiento.

La Jornada contó con la presencia de D. Javier Herrero Lizano, primer Delegado del Comité español de PIARC, y de Dña. Rosario Cornejo Arribas, Presidenta de la ATC. Les acompañaron en la mesa D. Ricardo Martín de Bustamante, Vicepresidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y D. Rafael López Guarga, Presidente del Comité Técnico de Túneles quien a su vez ejerció de moderador de la Jornada.

Tras las obligadas palabras presidenciales, en las que D. Javier Herrero, Director General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, puso de mani-fiesto

el empuje que se le está dando al Plan de Rehabilitación y adaptación de los túneles de la red del Estado al R.D. 635/2006 de condiciones mínimas de seguridad y a la Directiva Europea 2004/54/CE en el marco de los Fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, D. Justo Suárez Fernández presentó el documento de “Recomendaciones para la Normalización de los equipos de ventilación” haciendo una reseña de los antecedentes que condujeron a la creación, en el seno del Comité de túneles de la ATC, del Grupo de Trabajo para la normalización de los equipamientos en túneles. Expuso la metodología empleada para evaluar las posibilidades de normalización de los diferentes equipos de ventilación y analizó las principales ventajas que ello aporta, describiendo la estructura y el contenido del documento.

Por parte de D. Antonio Martín Crisenti se presentó el documento “Reco-

mendaciones para la normalización de Controladores Remotos” cuyo objetivo es el de eliminar los problemas de compatibilidad entre diferentes soluciones y proveedores, mejorando la eficiencia y reduciendo la complejidad y los costes de los sistemas de control. Los controladores remotos son los equipos con nivel de inteligencia suficiente para permitir el control y monitorización de todos los equipos de túnel desde el Centro de Control, permitiendo en caso de fallo de las comunicaciones y/o del Centro de Control el funcionamiento en modo degradado de las instalaciones.

En su presentación sobre “*Modelos numéricos para el diseño de sistemas de ventilación (y riesgo) en túneles de carretera*”, D. Ignacio del Rey describió distintas aplicaciones de los modelos numéricos computacionales (a veces referidos como modelos CFD) en el ámbito de túneles de carretera, centrándose en los empleados para el dimensionamiento de sistemas de ventilación y para los estudios combinados de evacuación – comportamiento de humo, habitualmente empleados en los modelos de análisis de riesgo. En particular, se centró en las diferencias entre modelos de tipo unidimensional y tridimensionales, explicando las ventajas e inconveniente de cada uno de ellos. Además, a lo largo de su presentación, fue describiendo las últimas tendencias en el uso de estos modelos, con numerosas referencias a publicaciones recientes en congresos internacionales y bibliografía en este campo. Así mismo, planteó algunas cuestiones respecto de las dificultades para su aplicación.

D. Juan Manuel Sanz, bajo el título: “*Ventilación y Sobrepresión de Galerías Longitudinales de Evacuación*”, expuso cómo la evolución actual hacia túneles más largos y en entornos difíciles requiere en muchos casos disponer de galerías de evacuación muy largas y complejas y explicó las principales normas y recomendaciones técnicas relacionadas con la ventilación de este tipo de galerías y las condiciones que



Inauguración de la Jornada, de izquierda a derecha, Charo Cornejo, presidenta de la ATC, Javier Herrero, director general de Carreteras, Rafael López Guarga, director técnico de la jornada y Ricardo Martín de Bustamante, vicepresidente del Colegio de ICCP



Mesa Redonda de la primera sesión de la jornada, de izquierda a derecha, Raúl García Sainz, Juan Manuel Sanz Sacristán, Justo Suárez Fernández, Rafael López Guarga, Antonio Olallo Martín Crisenti e Ignacio del Rey Llorente.

deben tenerse en cuenta en su diseño. Presentó distintos ejemplos de diversos túneles singulares en el mundo, mostrando diversos casos de configuración y explotación.

Posteriormente, D. Raúl García Sainz, con el título “*PLCs redundantes en túneles de carretera*” presentó las diferentes peculiaridades de los PLCs redundantes que hacen su uso idóneo en infraestructuras críticas como son los túneles de carretera. Explicó su funcionamiento de forma detallada en cuanto a su nivel de configuración, programación y puesta en marcha y destacó sus funcionalidades, permitiendo desarrollar un gemelo digital del túnel reduciendo el tiempo de desarrollo y puesta en marcha.

La siguiente presentación “*Ciberseguridad y el Control de Accesos en PLCs*” corrió a cargo de D. César Fernández Ramírez, en la que planteó cómo proteger las Infraestructuras de ciberataques, siendo los túneles infraestructuras críticas muy susceptibles de ser atacadas. La ciberseguridad debe ser integrada en todo el ciclo de vida del sistema. Debe hacerse una gestión de usuarios eficiente, un acceso remoto seguro a la célula de automatización (Control, iluminación, ventilación etc.), existir la posibilidad de cifrar la comunicación entre los distintos componentes del sistema (PLC, HMI, ES) y desplegar de forma masiva actualizaciones de seguridad en todos los equipos, así como restaurarlos a un estado seguro en caso de fallo.

A continuación, llevó a cabo su presentación Dña. Eva Montero Yéboles, cuyo objetivo fue el de abrir un debate entre todos los asistentes y profundizar en “*Las dificultades para resolver la sustentación de los equipos de ventilación y su interfaz con las estructuras*”, presentando ejemplos de varios proyectos de túneles. Resaltó la importancia de resolver esta interfaz en las primeras etapas del diseño y no esperar a la fase de obra.

D. Javier Fernández Martínez en su intervención sobre el “*Diagnóstico y adecuación de un sistema de ventilación en un túnel de carretera de Chile*”, hizo un repaso de sus distintas fases: definición de los criterios de diseño, pruebas de diagnóstico, propuesta de alternativas y estudio de ventilación. En este tipo de proyectos, hay que mencionar la gran ayuda que supondría que en todas las fases existieran unos criterios normalizados.

Seguidamente el Sr. Peris Sayol de la empresa Sener disertó sobre el “*Dimensionamiento de la ventilación en túneles con grandes diferencias de cota o que atraviesan importantes cordilleras*”, señalando que es muy importante realizar un estudio previo detallado en el que se tenga en cuenta todos los parámetros (tiro natural, temperaturas, densidad del aire,...) que influyen para realizar un correcto diseño del sistema y garantizar que, en caso de incendio, el proceso de evacuación de las personas en el interior del túnel se haga con la mayor seguridad posible.

Por último, el Sr. Menéndez Guardado por parte de Zitrón hizo la presentación correspondiente a: “*Tecnologías de última generación en sistemas de ventilación en túneles 2022*” que permiten introducir en los ventiladores de túneles nuevas tecnologías para en primera instancia promover una homogeneidad de instalación e incrementar sus capacidades a nivel de monitorización, aumentando la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia. Así es posible



Mesa Redonda de la segunda sesión de la jornada, de izquierda a derecha, Eva María Montero Yéboles, Javier Fernández Martínez, César Fernández Ramírez, Rafael López Gurga, Oliver Menéndez Guardado y Guillem Peris Sayol.

TÚNELES DE CARRETERA: RECOMENDACIONES PARA LA NORMALIZACIÓN DE EQUIPOS DE VENTILACIÓN

y

TÚNELES DE CARRETERA: RECOMENDACIONES PARA LA NORMALIZACIÓN DE CONTROLADORES REMOTOS

Disponibles en:

www.atc-piarc.com/publicaciones_catalogo.php

implantar una instalación más eficiente, obtener ahorros en el cableado, estandarizar la instrumentación y utilizar la comunicación digital con alta capacidad de procesamiento. La aplicación de estas tecnologías proporciona una gran cantidad de información de cada equipo de ventilación desde el momento de su energización, en particular dicha información por su complejidad y tamaño hace necesario un tratamiento informático para su aprovechamiento

en las tareas de planificación y mantenimiento. Con ello es posible evaluar el estado del ventilador y filtrar los datos para identificar y planificar la subsanación de incidencias, facilitando en la medida de lo posible la prolongación de la vida útil de los equipamientos, aumentando la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia de las instalaciones de los usuarios finales. ❖

PRÓXIMOS EVENTOS ATC

La Asociación Técnica de Carreteras tiene previsto los siguientes eventos:

- **Jornadas Seguridad Vial**
Málaga, 19 al 21 de septiembre de 2022
- **2ª Conferencia Internacional sobre la Explotación y la Seguridad de los Túneles de Carretera y VIII Simposio Nacional de Túneles**
Grabada, 25 al 28 de octubre de 2022

¿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



La seguridad vial como centro de gravedad de las carreteras

Las cifras inaceptables de siniestralidad vial a nivel mundial, tanto en términos absolutos como relativos, se han mantenido en gran medida sin cambios durante los últimos 20 años, a pesar de la rigurosa labor en materia de seguridad vial realizadas. Los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) apuntan a los accidentes viarios como la principal causa de muerte de niños y jóvenes en el mundo, lo que supone un coste intolerable para las familias y la sociedad, en general.

Reconociendo la importancia del problema y la necesidad de actuar, los gobiernos de todo el mundo proclamaron unánimemente un Segundo Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021- 2030, con el objetivo explícito de reducir las defunciones y traumatismos causados por el tránsito en al menos un 50% durante ese período.

A dicha iniciativa le precedió la publicación de la Directiva 2019/1936 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2019, por la que se modifica la directiva 2008/96/CE sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias, tras la evaluación de los resultados obtenidos con la aplicación de la Directiva 2008/96/CE.

En este contexto, los próximos días 19, 20 y 21 de septiembre de este año 2022 tendrán lugar en la ciudad de Málaga las VIII Jornadas Nacionales de Seguridad Vial organizadas por primera vez conjuntamente por la ATC (Asociación Técnica de Carreteras) y la AEC (Asociación Española de las Carreteras).

Desde la última edición de estas Jornadas, celebradas en Toledo en 2017, han transcurrido ya cinco años, los cuales han estado marcados por la pandemia derivada del COVID-19 y las restricciones impuestas a tal efecto.

Desde el año 2020, la respuesta de los distintos países del mundo para controlar la expansión de la pandemia fue la aplicación de distintas restricciones, que provocaron una reducción drástica de la movilidad. No obstante, la reducción del tráfico viario asociada a dicha circunstancia no se vio secundada en el mismo orden por la accidentalidad, pese a que se observó una reducción importante de la misma. Este hecho, unido a la tendencia de los últimos años hizo que sólo Noruega y Grecia cumplieran el objetivo comunitario de reducción de las víctimas mortales previsto para el año 2020.

Así pues, estas VIII Jornadas se conciben como un foro de encuentro y debate para el análisis de la problemática nacional y el intercambio de conocimientos y experiencias que permitan avanzar y progresar en la mejora de los niveles de seguridad en las carreteras españolas. Por ello, quisiera animar a todos los que de alguna manera están relacionados con la conservación y seguridad de nuestra red viaria a asistir en este evento, que estoy convencido será provechoso para todos, así como agradecer el apoyo y patrocinio institucional con el que cuentan estas VIII Jornadas Nacionales de Seguridad Vial, gracias al cual es posible su celebración.

Asimismo, tendrá lugar durante estos días una exposición donde las empresas puedan mostrar sus productos y novedades en el campo de la seguridad vial. ❖

Más información e inscripción

www.jnsv.aecarretera.com



2ª Conferencia Internacional sobre la Explotación y la Seguridad de los Túneles de Carretera y VIII Simposio Nacional de Túneles

Granada, 25 a 28 de octubre de 2022

Tras el éxito de la 1ª Conferencia Internacional de PIARC sobre Túneles celebrada en Lyon, Francia, en octubre 2018, en esta ocasión junto al Comité nacional español (ATC) se va a organizar la 2ª Conferencia Internacional de PIARC y el VIII Simposio español de Túneles en octubre de 2022 en Granada, España, que reunirá el conocimiento e intercambio de experiencias internacionales de PIARC en esta materia junto a la ya tradicional y amplia cita nacional que organiza la ATC cada cuatro años, con la expectativa de reunir cerca de 1.000 profesionales de los túneles de carretera de todo el mundo para generar un debate global sobre los mismos.

PIARC es una Asociación apolítica y sin ánimo de lucro, uno de cuyos objetivos es la transmisión del conocimiento y el intercambio de experiencias en materia de carreteras. Los Programas de Trabajo se organizan por

ciclos de cuatro años marcados por los Congresos Mundiales de Carreteras. Además a mitad del ciclo se organiza un Congreso Mundial de Vialidad Invernal.

El marco de trabajo para el desarrollo de los objetivos son los Comités Técnicos, siendo uno de los más activos el correspondiente a los Túneles de carretera, anteriormente denominado de Explotación de Túneles, que desde el año 1995 ha publicado 48 documentos además del Manual online y numerosos artículos en la revista Routes/Roads.

Por este motivo en octubre de 2018 se tomó la iniciativa de organizar una Conferencia internacional de Seguridad en Túneles que se celebró en Lyon y que fue un gran éxito de convocatoria, lo que ha animado a convocar una 2ª Conferencia, esta vez en España, que supondrá su consolidación.

Ante los nuevos retos del cambio climático, de una economía sostenible y en el marco del Covid 19 encuentra sentido hablar de infraestructuras resilientes, concepto igualmente aplicable a los túneles, de modo que éstos deben de presentar elevadas tasas de disponibilidad con un nivel de seguridad aceptable incluso bajo circunstancias que supongan importantes alteraciones del funcionamiento normal, estableciéndose medidas para reducir los impactos. Ello además implicará la redefinición de las normas de diseño y gestión e integrar el concepto de resiliencia en el ciclo de vida.

Por otra parte, el sector del transporte está viviendo una revolución tecnológica con los desafíos de la transformación digital. Fenómenos como el vehículo autónomo, los vehículos compartidos, las plataformas digitales de movilidad o la electrificación y las nuevas energías de propulsión de los vehículos son realidades sobre las que debemos de trabajar ya por su directa relación en el modo de gestión y de explotación de los túneles. Sobre todos estos extremos también tienen mucho que decir los sistemas ITS y su permanente desarrollo.

Otros asuntos importantes son la gestión de los grandes túneles urbanos así como en general la ventilación e iluminación de los túneles y sus constantes avances.

Pues bien, la celebración de esta 2ª Conferencia internacional, coincidente con el VIII Simposio nacional de túneles de España permitirá exponer el estado del arte de todos estos temas tan novedosos y ser un foro de retroalimentación y de intercambio de ideas que permitirá seguir investigando y modelando los túneles frente a los retos que en pocos años estarán presentes y serán normales en nuestras infraestructuras. ❖

Día 1 / 25 octubre		
Mañana		
Sesión plenaria	09:00-10:00	Sesión de Inauguración
	10:00-11:00	Inauguración Exposición Técnica
	11:00-12:00	Mesa de Responsables de Redes de Carreteras
	12:00-13:45	1ª Sesión: "Los nuevos retos de los túneles ante el objetivo 2030"
Tarde		
	15:00-18:45	2ª Sesión: "Explotación y gestión sostenible de los túneles" (I)
Sala 1		Tema: "Resiliencia de los túneles"
Sala 2		Tema: "Sistemas ITS y su colaboración en la mejora de la explotación"
	21:30-23:30	Cena Oficial
Día 2 / 26 octubre		
Mañana		
Sesión plenaria	08:30-11:00	3ª Sesión: "Gestión de túneles urbanos y de elevado tráfico"
	11:30-14:00	4ª Sesión: "Nuevas energías de propulsión de vehículos y su impacto en los túneles"
Tarde		
	15:00-18:30	5ª Sesión: "Explotación y gestión sostenible de los túneles" (II)
Sala 1		Tema: "Gestión de las emergencias"
Sala 2		Tema: "Análisis de riesgos"
Día 3 / 27 octubre		
Mañana		
	08:30-11:30	6ª Sesión: "Ventilación e Iluminación"
Sala 1		Tema: "Ventilación"
Sala 2		Tema: "Iluminación y eficiencia energética"
Sesión plenaria	12:00-14:15	7ª sesión: "Estado actual de los túneles y su relación con la Normativa"
	14:15-15:00	Clausura
	15:00-16:30	Cocktail de despedida
Día 4 / 28 octubre		
Día completo		
		VISITAS TÉCNICAS

Mas información e inscripción
www.piarc-tunnels-spain2022.org



Composición de la Junta Directiva de la ATC

PRESIDENTE: - D.ª María del Rosario Cornejo Arribas

CO-PRESIDENTES DE HONOR: - D. Francisco Javier Herrero Lizano
- D. Pere Navarro Olivella

VICEPRESIDENTES: - D.ª Mª 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:

- Presidente Saliente:
 - D. Luis Alberto Solís Villa
- Designados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana:
 - D. Miguel Ángel Bermúdez Odrizola
 - D.ª María Rosario Cornejo Arribas
 - D. Javier de las Heras Molina
 - D. Ángel García Garay
 - D. Álvaro Navareño Rojo
- 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. José Luis Gochicoa González
 - D. David Merino Rueda
 - D. Jesús Félix Puerta García
 - D. Ramón Colom Gorgues
- 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. Antonio Sánchez Trujillano
- En representación de los departamentos universitarios de las escuelas técnicas:
 - D. Félix Edmundo Pérez Jiménez
 - D. Manuel Romana García
- Representantes de las sociedades concesionarias de carreteras:
 - D. Bruno de la Fuente Bitaine
 - D. Antonio Belmonte Sánchez



- Representantes de las empresas de consultoría:
 - D. José Luis Mangas Panero
 - D. Juan Antonio Alba Ripoll
- Representantes de las empresas fabricantes de materiales básicos y compuestos de carreteras:
 - D. Jesús Díaz Minguela
 - D. Francisco José Lucas Ochoa
 - D. Sebastián de la Rica Castedo
 - D. Juan José Potti Cuervo
- Representantes de las empresas constructoras de carreteras:
 - D. Jorge Enrique Lucas Herranz
 - D. Camilo José Alcalá Sánchez
- Representante de las empresas de conservación de carreteras:
 - D. Pablo Sáez Villar
- Representante de los laboratorios acreditados
 - D. Alonso Pérez Gómez
- 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. Pedro Gómez González
 - D. Francisco Javier Criado Ballesteros
 - D.ª Mª del Carmen Picón Cabrera

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

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. Juan Manuel Sanz Sacristán

CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Presidente D. Vicente Vilanova Martínez-Falero
- Presidente Adjunto 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 Senior
 - Socios Júnior
- **Socios Colectivos**
- **Socios Individuales**

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

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
 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

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.
- 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.
- 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.
- 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 TRAFFICCOM TRANSPORTATION S.A.U.
- LANTANIA, S.A.U.
- LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S.A.
- LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING, S.L.
- MATINSA, MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS, S.A.
- MASTER BUILDERS SOLUTIONS ESPAÑA, S.L.U.
- OBRAS HERGÓN, S.A.U.
- 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, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
- 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.
- TALLERES ZITRÓN, S.A.
- TECLIVEN, S.L.
- TÉCNICA Y PROYECTOS, S.A. (TYPASA)
- TECNIVIAL, 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
- VSING INNOVA 2016, S.L.
- ZARZUELA, S.A. EMPRESA CONSTRUCTORA

Socios Individuales, Senior y Junior

Personas físicas (90) 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.

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.



www.atc-piarc.com/rutas

PORTADA RUTAS:

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

Forma de pago:

Domiciliación bancaria CCC nº _____
 Transferencia al numero de cuenta: 0234 0001 02 9010258094

Nombre

Empresa NIF

Dirección Teléfono

Ciudad C.P. e-mail

Provincia País

Fecha Firma