

Firmes de larga duración

ÁNGEL MATEOS MORENO (*), JOSÉ ORENCIO MARRÓN FERNÁNDEZ (*) y JAVIER PÉREZ AYUSO (*)

RESUMEN La existencia de firmes de larga duración no es exclusiva de los últimos años; por el contrario, han venido construyéndose desde hace décadas tanto en Europa como en Estados Unidos. De hecho, el concepto surge a partir de la observación del comportamiento de carreteras en servicio, al verificarse cómo determinados firmes, diseñados originalmente para una vida útil de 20 años, no parecían haber disminuido su capacidad portante con el paso del tiempo y sus necesidades de mantenimiento habían estado enfocadas exclusivamente a la capa de rodadura.

La base conceptual de los firmes de larga duración es la existencia de un umbral de fatiga, por debajo del cual el daño producido por cada aplicación de carga es, en la práctica, nulo o inferior a la capacidad de autorreparación de la mezcla asfáltica.

La práctica actual del diseño de firmes de larga duración considera un pavimento constituido por tres capas bituminosas con una misión muy específica: una rodadura que aporta las características superficiales, una intermedia que aporta la mayor parte de la capacidad estructural y una base que aporta la resistencia a la fatiga. Además, una de las particularidades del mismo es el diseño frente a determinados mecanismos de deterioro.

La estrategia de conservación de este tipo de firmes también presenta una serie de particularidades. Está esencialmente enfocada a la detección de los deterioros superficiales y a su remedio apropiado, en tiempo y forma, antes de que los mismos puedan afectar más allá de la capa de rodadura, poniendo en riesgo la integridad estructural del firme.

A día de hoy, esta nueva forma de concebir el diseño, la construcción y la conservación de las carreteras, supone uno de los principales retos de la ingeniería de firmes a nivel mundial.

LONG LIFE PAVEMENTS

ABSTRACT *The existence of long-life pavements is not new; they have been built in Europe and the United States for decades. In fact, the concept arises from the observation of in-service roads; it was verified how particular pavements, initially designed for a 20-year service life, did not seem to have reduced the bearing capacity along the time, and its maintenance necessities had been exclusively focused on the wearing course.*

The base idea of long-life pavements is the existence of a fatigue threshold below which the damage produced by each load application is, in practice, zero or below the healing potential of the asphalt mix.

The usual practice of long-life pavements design considers a pavement constituted by three asphalt layers, each one with a very specific role: a wearing course that provides with the surface characteristics, an intermediate course that provides with most of the structural capacity and a base course that provides with the fatigue resistance. Furthermore, one of the particularities is the design against specific distress mechanisms.

Maintenance strategy also presents specific particularities for long-life pavements. It is essentially focused on the detection of surface deterioration, and the appropriate and timely repair, before the damage extends beyond the wearing course, putting into risk the structural integrity of the pavement.

Nowadays, this new way to conceive the design, the construction and the maintenance of road pavements, constitutes one of the main challenges for pavement engineering worldwide.

Palabras clave: Diseño, Firme, Larga-Duración, Umbral, Fatiga.

Keywords: Long-Life, Pavement, Design, Fatigue, Endurance, Limit.

1. INTRODUCCIÓN

La existencia de firmes de larga duración (FLD) no es exclusiva de los últimos años; por el contrario, han venido construyéndose desde hace décadas tanto en Europa como en Estados Unidos. De hecho, el concepto surge a partir de la observación del comportamiento de firmes en servicio.

A comienzos de la década de los noventa se puso de manifiesto en diferentes países cómo determinados firmes de carretera, originalmente diseñados para una vida útil de 20 años, seguían conservando su capacidad portante más allá de las expectativas iniciales, incluso por encima de los 30 años de servicio. Así mismo, las inspecciones detalladas en dichas carreteras ponían sistemáticamente de manifiesto una serie de denominadores comunes, a partir de los cuales comenzaba a forjarse el concepto de firmes de larga duración. A finales de dicha década, el concepto había madurado lo suficiente como para constituir, más allá de una nueva tipología de firmes,

(*) Centro de Estudios del Transporte del CEDEX.

una nueva forma de concebir el diseño, la construcción y el mantenimiento de los firmes de carretera.

Las ventajas que este nuevo concepto ofrecía no eran en absoluto desdeñables:

- Eliminación del coste de reconstrucción al final de la vida de servicio del firme.
- Menores perjuicios a los usuarios por operaciones de mantenimiento.
- Menor consumo de recursos no renovables: áridos y betún.
- Menor consumo energético a lo largo del ciclo de vida de la carretera.
- Menor coste económico a lo largo del ciclo de vida de la carretera; se estiman unos ahorros de hasta el 10% sobre el coste total de construcción y mantenimiento del firme.

A nivel europeo, en el año 1997, el "Transport Research Laboratory" británico produjo la primera guía para el diseño específico de firmes de larga duración. Pocos años después, en el 2002, el "Asphalt Pavement Alliance" estadounidense incorporaría especificaciones para el diseño de este tipo de pavimentos, a los que denominaría "perpetual pavements" y definiría de la siguiente manera:

"A Perpetual Pavement is defined as an asphalt pavement designed and built to last longer than 50 years without requiring major structural rehabilitation or reconstruction, and needing only periodic surface renewal in response to distresses confined to the top of the pavement"

Una de las definiciones más aceptadas internacionalmente a día de hoy es la elaborada en el año 2004 por el grupo ELLPAG (European Log-Life Pavement Group):

"A type of pavement where no significant deterioration will develop in the foundations or the road base layers provided that correct surface maintenance is carried out";

lo que podría traducirse como:

"Un tipo de firme que no presentará deterioros significativos de tipo estructural, ya sea en las capas de base o en la

explanada, siempre que el mismo sea sometido a un adecuado mantenimiento superficial".

Definición que posteriormente se matizaría por el mismo grupo ELLPAG, quedando redactada de la siguiente forma:

"A well designed and well constructed pavement where the structural elements last indefinitely provided that the designed maximum individual load and environmental conditions are not exceeded and that appropriate and timely surface maintenance is carried out";

lo que podría traducirse como:

"Un pavimento bien diseñado y bien construido en el que los elementos estructurales durarán indefinidamente, siempre y cuando no se excedan la carga máxima y las condiciones ambientales de diseño, y siempre que el mismo sea sometido a un adecuado mantenimiento superficial en tiempo y en forma".

2. ESQUEMA ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO DE LARGA DURACIÓN

Cada capa de mezcla bituminosa ha de cumplir una misión específica y resistir unos tipos específicos de deterioro. Por ello, la elección del tipo de mezcla así como el diseño de la misma, en particular los ensayos a realizar y las prescripciones de comportamiento, han de ser particulares para cada una de las tres capas que, funcionalmente, se pueden distinguir en un pavimento de larga duración.

La misión, casi exclusiva, de la capa de rodadura es la de proveer una superficie cómoda, segura y durable para la circulación del tráfico. Es fundamental garantizar en la misma una elevada resistencia a las roderas así como al desgaste. Para ello resulta apropiado el uso de mezclas tipo "stone mastic asphalt" o nuestros microaglomerados en caliente, con árido grueso de elevadas resistencia y cpa, con uso de filler de aportación y con una elevada dotación de betún modificado. Son imprescindibles el ensayo de deformaciones plásticas y el de sensibilidad al agua.

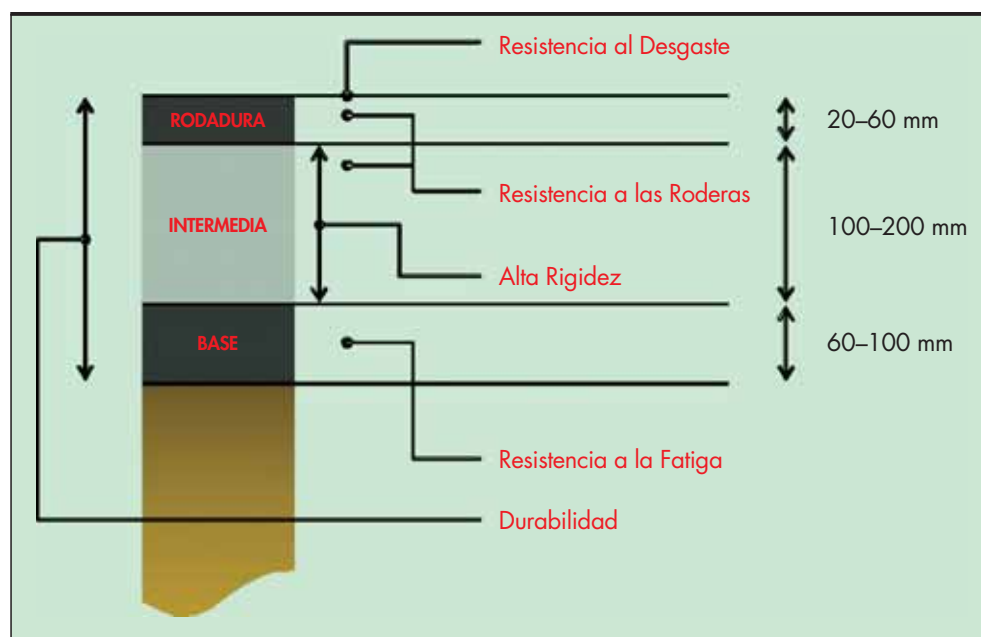


FIGURA 1. Esquema Tricapa de un Pavimento de Larga Duración.

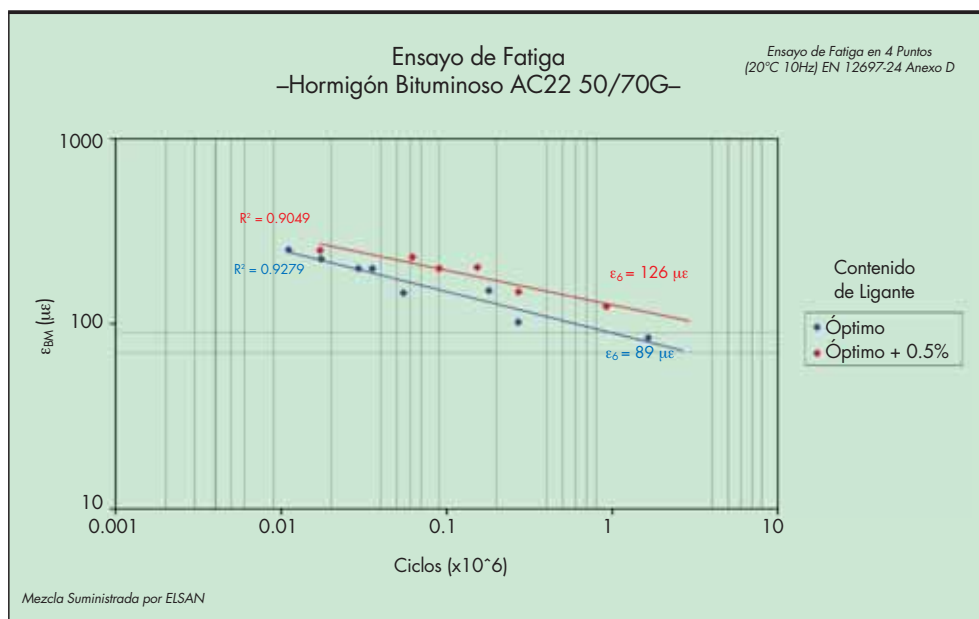


FIGURA 2. Influencia del Enriquecimiento de la Mezcla sobre la Ley de Fatiga.

La misión principal de la capa intermedia es la de dotar al firme de una elevada capacidad portante: su rigidez juega un papel esencial para disminuir las tracciones en el fondo de la capa de base así como la deformación vertical en las capas inferiores y en la explanada. Es apropiado el uso de hormigones bituminosos con fuerte esqueleto mineral (no necesariamente con elevado tamaño máximo de árido). Esta capa ha de presentar así mismo una elevada resistencia a las roderas. Son imprescindibles el ensayo de deformaciones plásticas, el de módulo elástico y el de sensibilidad al agua.

Respecto a la capa de base, su misión principal, al margen de su aportación a la capacidad estructural del conjunto del firme, es la de resistir las tracciones que se producen en el fondo de la capa de mezcla bajo el paso de las cargas del tráfico. Su espesor se reduce notablemente con respecto al planteamiento convencional. Resulta apropiado el uso de hormigones bituminosos con granulometría fina y un elevado contenido de betún (huecos por debajo del 3%). Son imprescindibles el ensayo de fatiga (convencional), el de módulo elástico y el de sensibilidad al agua.

A día de hoy es habitual el uso de mezclas enriquecidas como capa de base de los firmes de larga duración. Este tipo de mezclas, conocidas como “*Rich Bottom Bases*” en la literatura anglosajona, se formulan incrementando en un 0.5% el contenido óptimo de ligante para reducir el porcentaje de huecos y aumentar la vida a fatiga. Véase a título de ejemplo la Figura 2, obtenida en el Centro de Estudios del Transporte del CEDEX sobre una mezcla gruesa de las normalizadas en el PG-3.

Es evidente que el citado esquema estructural (tricapa) requiere de un cimiento que garantice un adecuado soporte a lo largo del tiempo, bajo las diferentes condiciones ambientales a las que pueda estar expuesta la carretera. Es práctica habitual el uso de materiales granulares procedentes de machaqueo así como de suelos estabilizados con cemento. En particular, la disposición de una sub-base de zorra artificial sobre una explanada de categoría E3, de las recogidas por la Norma 6.1-IC “Secciones de firme”, resulta más que apropiado siempre que se garantice una adecuada construcción.

3. VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EXISTENCIA DE FLD

La constatación experimental de que un firme es de larga duración, puede llevarse a cabo en base al comportamiento observado a lo largo de un período de tiempo suficientemente amplio. La idea, que viene a recoger la propia definición de firme de larga duración, es la ausencia de deterioros de tipo estructural; por el contrario, la capacidad portante del firme no ha de disminuir con el tiempo y sus necesidades de mantenimiento han de estar focalizadas a la capa de rodadura o a los centímetros superiores del paquete de mezclas bituminosas.

A nivel de red, esta tipología de firmes se pone de manifiesto con la ausencia de la fisuración convencional de fatiga estructural (*bottom-up*) así como con la ausencia de deformaciones permanentes provenientes de las capas inferiores o de la explanada.

Existen experiencias a nivel europeo, principalmente en el Reino Unido, así como a nivel estadounidense, donde la auscultación de firmes en servicio ha puesto sistemáticamente de manifiesto cómo determinados firmes bien construidos y con una capacidad portante elevada no parecían sufrir deterioro estructural alguno con el paso del tiempo, ni siquiera al estar sometidos a los tráficos más agresivos. Más aún, se observaba cómo los mecanismos de deterioro que supuestamente habrían de haber causado la ruina del firme apenas estaban presentes.

3.1. EL CASO DEL REINO UNIDO

Las investigaciones iniciadas por el TRL “*Transport Research Laboratory*” tras la revisión de la normativa de diseño británica en 1984, dieron como fruto una serie de importantes conclusiones, sobre la evolución de los diferentes mecanismos de deterioro, que servirían para sentar las bases de los firmes de larga duración.

Probablemente la principal conclusión fue que para firmes con un espesor considerable de mezcla bituminosa los deterioros observados eran siempre de tipo superficial, normalmente en forma de fisuración y roderas. La evidencia demostró que la fatiga originada en el fondo de la capa de mezcla o las deformaciones permanentes provenientes de las capas inferiores no se producían.

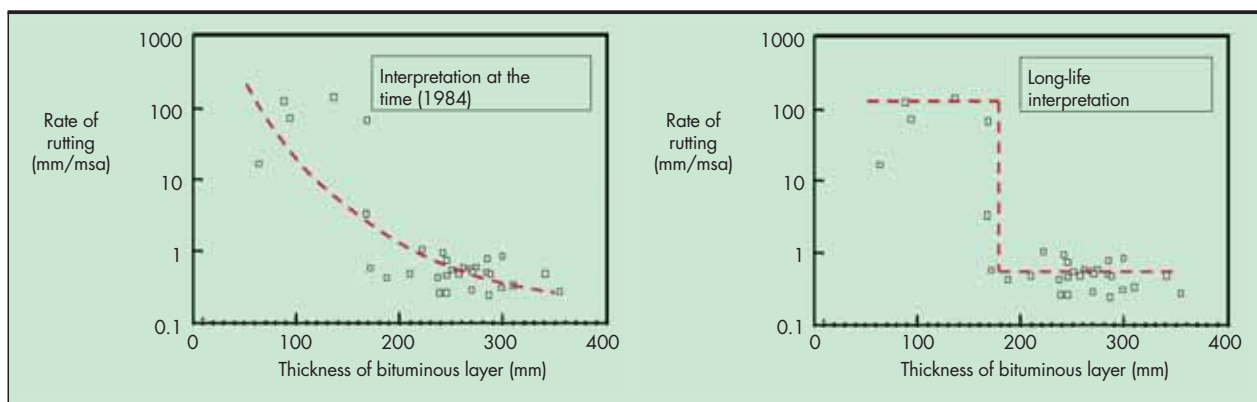


FIGURA 3. Deformaciones Permanentes en Firmes Flexibles – Interpretación Clásica / Interpretación como Firmes de Larga Duración. Fuente: Ferne, B. and M. Nunn. "Assessment and Maintenance of Long-Life Flexible Pavements"; International Conference on Perpetual Pavement; Columbus, Ohio, EE.UU.; Septiembre, 2006.

Aunque con frecuencia se observaba fisuración en este tipo de firmes, la extracción de testigos demostraba de forma invariable que se trataba de fisuración iniciada en la superficie, existiendo poca evidencia de la existencia de la fisuración tradicional de fatiga "bottom-up".

En términos de deformaciones permanentes, para los firmes con cierto espesor de mezcla bituminosa, éstas se producían sólo en los centímetros superiores, normalmente sólo en la capa de rodadura y, en todo caso, en la intermedia. Los datos parecían reflejar un umbral, en torno a los 180 mm, por encima del cual las deformaciones permanentes decrecían considerablemente. La interpretación de estos datos en 1984 parecía clara: a mayor espesor, menor deformación estructural, y por tanto menores deformaciones permanentes. Sin embargo, este razonamiento no podía explicar la estabilización de las deformaciones para los espesores más elevados, ya que deberían haber continuado reduciéndose. Tampoco explicaba el salto tan importante que se produce entre los 150 y los 200 mm. Ambos fenómenos ponían de manifiesto un comportamiento estructural diferente; este comportamiento es el de un firme de larga duración (Figura 3).

3.2. EL CASO DE HOLANDA

A comienzos de los años noventa el Ministerio de Transportes Holandés inició un estudio experimental con el fin de validar su método de diseño de firmes.

El estudio se llevó a cabo sobre 176 secciones flexibles, y sus resultados fueron concluyentes respecto al tipo de fisuración predominante:

- Para firmes con espesor de mezcla bituminosa por encima de 160 mm, la fisuración existente siempre era iniciada en superficie, y no penetraba el espesor completo de mezclas bituminosas.
- Incluso para espesores menores de 160 mm, cuando la fisuración existente afectaba a todo el espesor bituminoso, también parecía que se hubieran iniciado en superficie.

La conclusión general fue que la fisuración por fatiga convencional, iniciada en el fondo de la capa de mezcla bituminosa, no era nunca el modo predominante de deterioro.

3.3. EXPERIENCIAS A NIVEL EUROPEO

Aunque no existe a nivel europeo un estudio específicamente enfocado a la evaluación de la existencia de firmes de larga duración, sí que se dispone de una referencia empírica que

aporta información muy valiosa en este sentido. Se trata de la encuesta llevada a cabo en el marco de la acción COST 333 "Development of New Bituminous Pavement Design Method", dirigida a los organismos oficiales a cargo de la red primaria de los diferentes países europeos, en la que se preguntaba por los mecanismos de deterioro más frecuentemente observados en sus carreteras.

Los resultados, presentados en la Tabla 1, ponen claramente de manifiesto que los deterioros de tipo estructural no son los más relevantes en las redes principales de los diferentes países y que, por el contrario, sí lo son los que afectan de forma exclusiva a la capa de rodadura o a los centímetros superiores del paquete de mezclas bituminosas. En particular, se muestran como de especial relevancia las roderas y la fisuración de tipo "top-down". Nótese que en la fecha de la encuesta (1999) el concepto de fisuración superficial no estaba aún consolidado, y de hecho se incluye el "agrietamiento longitudinal en la rodada" como un tipo independiente de deterioro, cuando en la práctica es una forma más de la fisuración superficial descendente.

En definitiva, existiría un porcentaje importante de firmes en los que no se habría llegado a producir un deterioro estructural significativo, por lo que potencialmente se trataría de firmes de larga duración.

Orden	Descripción
1	Deformaciones permanentes en la mezcla bituminosa
2	Pérdida de resistencia al deslizamiento
3	Fisuración superficial
4	Irregularidad longitudinal
5	Agrietamiento longitudinal en la rodada
6	Fisuración por fatiga iniciada en el fondo de la capa de mezcla bituminosa
7	Desprendimiento de los áridos
8	Deformaciones permanentes provenientes de la explanada
9	Levantamiento por efecto del hielo / fisuración por bajas temperaturas / daño por neumáticos de clavos

TABLA 1. Formas de Deterioro por Orden de Relevancia.

3.4. EXPERIENCIAS A NIVEL ESTADOUNIDENSE

Son numerosas las referencias bibliográficas que recogen ejemplos de firmes de larga duración en los Estados Unidos de América. Estados como el de Washington, Michigan, Illinois o Colorado, así como instalaciones de evaluación de firmes a escala real como MnROAD, WesTrack o NCAT, han obtenido importantes conclusiones durante los últimos años, que vienen a validar las obtenidas previamente en el Reino Unido.

En particular, han verificado cómo para firmes flexibles con un espesor de mezcla bituminosa por encima de cierto umbral (que las diferentes publicaciones estadounidenses sitúan entre 160 y 200 mm) rara vez se presenta fisuración de tipo estructural, las deformaciones provenientes de las capas inferiores del firme y de la explanada son despreciables y los únicos mecanismos de deterioro presentes en el firme afectan exclusivamente a la capa de rodadura o, en todo caso, a los centímetros inmediatamente por debajo de ésta.

Como ejemplo del nivel de servicio que se espera de este tipo de firmes y de las numerosas experiencias que están resultando, cabe citar el premio “Perpetual Pavements” que el “Asphalt Pavement Alliance” otorga anualmente a firmes que, como mínimo, tengan una antigüedad superior a los 35 años, nunca hayan presentado deterioros de tipo estructural y para los que el período medio entre reposiciones de la capa de rodadura, a lo largo de su vida de servicio, no haya estado por debajo de los 13 años. Otros aspectos a valorar son la originalidad del diseño, el estado de la capa de rodadura o un historial con pocas intervenciones de reparación así como con perjuicios mínimos a los usuarios.

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El diseño de los firmes se ha venido realizando tradicionalmente para un período de vida útil determinado, usualmente en el entorno de los 20-30 años, bajo la hipótesis de que al final de dicho período se alcanzaría el agotamiento estructural completo.

Además, tradicionalmente el papel considerado para cada una de las capas del firme era su aportación a la capacidad portante global del mismo. De hecho la guía de diseño AASHTO, hasta su penúltima edición, de 1993, caracterizaba la estructura del firme mediante un único valor, el “Structural Number”; este número, con dimensiones de longitud, representaba un espesor equivalente de las diferentes capas sobre la explanada, de forma que cada una contribuía al mismo a través de un “coeficiente de capa”, que a su vez dependía del tipo de material (0,44 para mezclas bituminosas; 0,14 para materiales granulares triturados; 0,11 para materiales granulares sin triturar).

La generalización del uso de los métodos de diseño analítico en la década de los noventa supuso un avance significativo en este sentido. El firme se modeliza como una estructura multicapa con el fin de obtener la respuesta, en términos de tensiones y/o deformaciones, bajo las solicitaciones del tráfico; esta respuesta estructural es posteriormente utilizada para predecir el deterioro del firme, usualmente mediante la utilización de leyes de fatiga (Figura 4).

El daño producido por el espectro de cargas del tráfico se supone se acumula linealmente, para lo cual es habitual la adopción de la hipótesis de Miner. De esta forma, el paso repetido de las cargas del tráfico va produciendo un daño acumulativo en la estructura del firme que acaba causando su agotamiento estructural.

Este planteamiento requiere al menos dos matizaciones significativas por lo que se refiere a firmes de larga duración:

- Parece existir un umbral de deformación de la mezcla bituminosa tal que, por debajo del mismo, el daño producido por cada aplicación de carga es, en la práctica, nulo o inferior al potencial de autorreparación de la mezcla bituminosa. En términos de una ley de fatiga, esto se pondría de manifiesto en un tramo horizontal para deformaciones de la mezcla por debajo de dicho umbral (Figura 5).

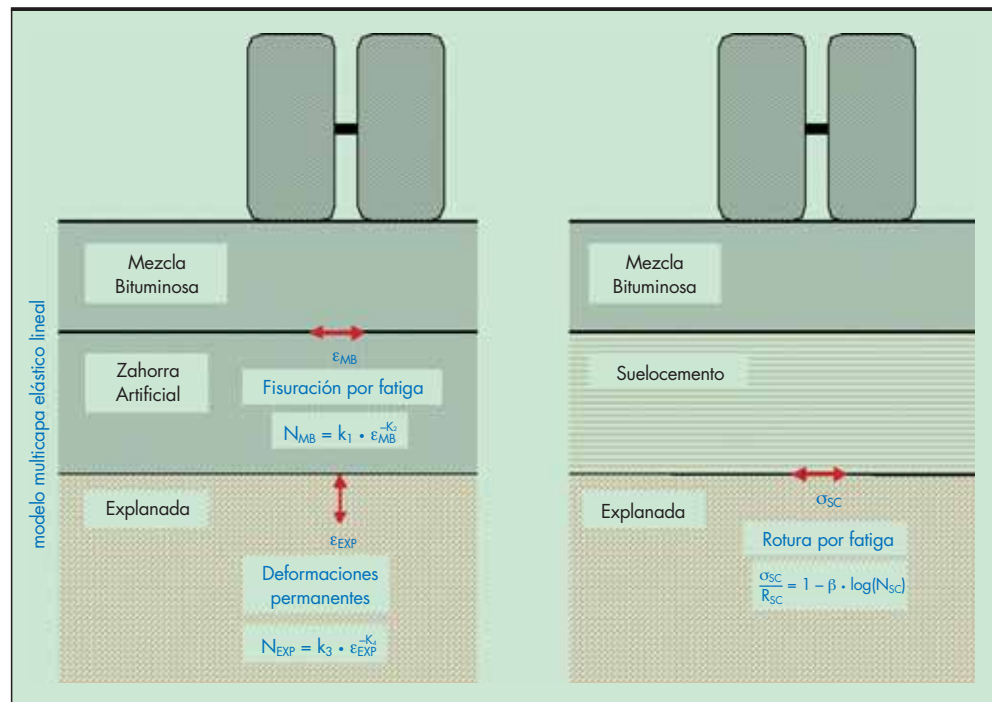
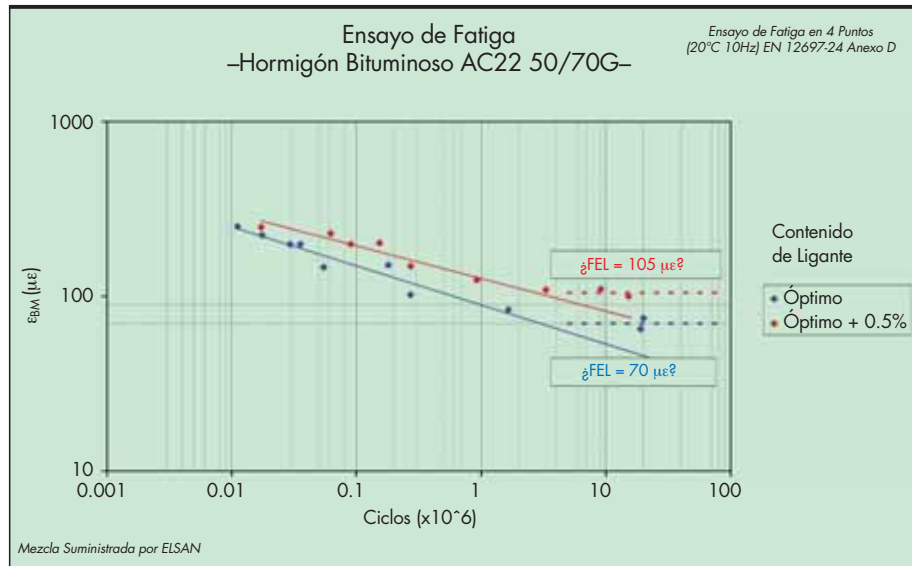


FIGURA 4. Esquema Básico del Diseño Analítico de Firmes.

FIGURA 5. Umbral de Resistencia Frente a la Fatiga de una Mezcla Bituminosa (Fatigue Endurance Limit).

Nota: Procede indicar que, a día de hoy, la existencia o no de un umbral de fatiga para las mezclas bituminosas es un punto bajo discusión. Existen numerosos estudios que abordan el tema, y una buena parte de ellos parece apoyar la existencia de este umbral, si bien la dificultad de realizar ensayos de fatiga más allá de 10 millones de ciclos (que a 10 Hz ya suponen más de 10 días de ensayo), arroja una importante incertidumbre sobre las conclusiones extraídas. La Figura 5 recoge la interpretación de una serie de resultados suponiendo la existencia de un umbral de fatiga a partir de 10 millones de ciclos; si bien el ajuste obtenido parece apoyar esta hipótesis, la verificación de la misma requeriría de ensayos adicionales de fatiga más allá de los 20 millones de ciclos.



- Existen una serie de mecanismos de deterioro que no se contemplan en este esquema de diseño; la mayor parte de estos mecanismos afectan sólo a la capa de rodadura o, en todo caso, a los centímetros inmediatamente por debajo de la misma.

La primera matización es precisamente la base de los firmes de larga duración: el primer objetivo del diseño es garantizar una capacidad estructural mínima tal que la deformación producida en el fondo de la capa de mezcla sea igual o inferior al umbral de resistencia frente a la fatiga. Es preciso indicar que, a pesar de que se haya verificado la existencia de firmes de larga duración con espesores de mezcla bituminosa relativamente reducidos, los criterios de diseño utilizados a día de hoy en Europa y Estados Unidos resultan en valores de entre 350 y 400 mm para el espesor conjunto del paquete bituminoso; estos valores incluyen márgenes de seguridad frente a posibles incrementos futuros de la máxima carga legal por eje, frente a desviaciones durante la construcción así

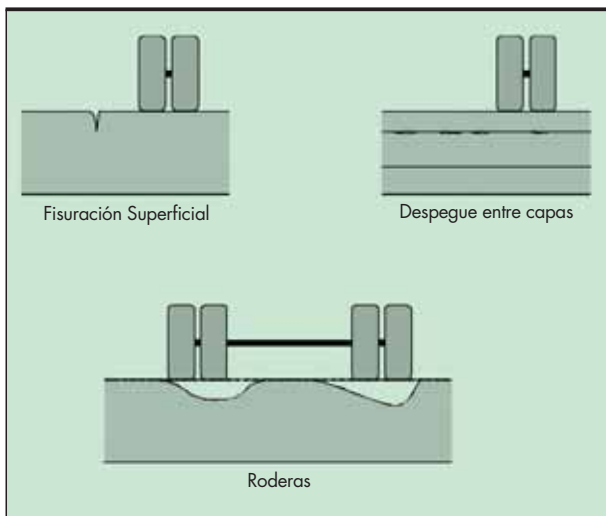


FIGURA 6. Mecanismos de Deterioro No Considerados por la Práctica Tradicional del Diseño Analítico de Firmes.

como frente a deterioros significativos de los 10 cm superiores de mezcla bituminosa.

La segunda matización pone de manifiesto la necesidad de avanzar en la línea iniciada ya por otros países que incorpora, en el marco de los métodos de diseño analítico, nuevos mecanismos de deterioro no necesariamente ligados al firme como estructura (Figura 6). Tal es el caso de la actual guía de diseño AASHTO "The Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide", de 2004, que incorpora, entre otros, modelos de deterioro para las roderas o para la fisuración térmica.

Hay que indicar que la necesidad de diseñar el firme y sus materiales para resistir estos mecanismos de deterioro no es nueva, ni está específicamente vinculada a los firmes de larga duración. Sin embargo, sí que se pone especialmente de manifiesto por dos motivos fundamentales:

- La importancia relativa de los mecanismos de deterioro superficial. El hecho de que se mantenga la capacidad portante de la sección, hace que los citados mecanismos de deterioro sean los únicos existentes; a lo que hay que unir la extensa vida de servicio, por encima de 40 años, que hace imprescindible la consideración de todos y cada uno de los mismos.
- La optimización del diseño del firme. El papel de cada una de las capas de mezcla bituminosa se especializa en gran medida, por lo que su diseño se ha de llevar a cabo frente a mecanismos específicos de deterioro (Figura 7).

Esta necesidad de abordar el diseño del firme frente a mecanismos específicos de deterioro sigue constituyendo un reto a día de hoy:

- Algunos de los mecanismos están siendo considerados, de forma indirecta, por medio de especificaciones empíricas de diseño; tal es el caso de las roderas. Hay que resaltar que aunque es de esperar cierta correlación entre el comportamiento de una mezcla en el ensayo de pista de laboratorio y su comportamiento en carretera, se tratará siempre de una extrapolación empírica.
- Para la fisuración superficial no existe aún consenso a nivel internacional sobre cuáles son los principios que la rigen, los ensayos que la caracterizan o los modelos que la predicen. El caso particular de la fisuración superficial es sin duda, por su más que contrastada relevancia, uno de los talones de Aquiles del diseño de firmes.

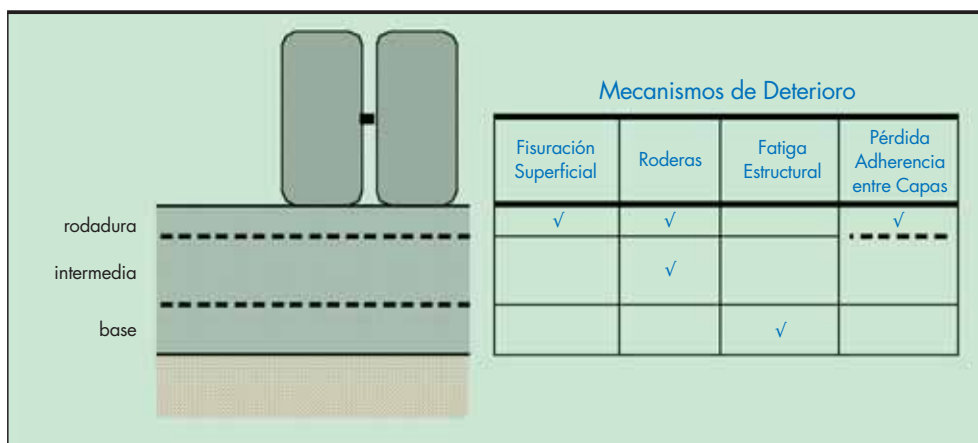


FIGURA 7. Especialización de las Capas de Mezcla Bituminosa.

Nota: El diseño "a medida" de la mezcla bituminosa frente a mecanismos de deterioro específicos es uno de los requisitos indispensables del diseño de firmes de larga duración.

- Otros mecanismos de deterioro, principalmente los de tipo estructural, han sido ampliamente abordados por la práctica internacional. No obstante resulta necesario determinar en primer lugar los modelos más apropiados para su simulación, en segundo lugar los ensayos y procedimientos para la determinación de sus parámetros y en tercer lugar los umbrales máximos de deterioro aceptables en función de las circunstancias de la carretera.

Como reflexión final, resaltar la necesidad de evaluar la aplicabilidad de las mezclas bituminosas, recogidas por la práctica habitual de cada país, para su uso en las diferentes capas del paquete bituminoso de un firme de larga duración; esto es, resulta necesario evaluar el comportamiento de cada una de las mezclas frente a los diferentes mecanismos de deterioro, así como las variaciones en su dosificación que son necesarias para optimizar su resistencia frente los mismos.

5. CONSIDERACIONES DE CONSERVACIÓN

La filosofía de conservación de los firmes de larga duración es, conceptualmente, muy sencilla: se trata de detectar los deterioros de tipo superficial (en particular la fisuración descendente y las roderas) y remediarlos antes de que puedan afectar

tar a la integridad estructural del firme. El remedio consistirá habitualmente en el fresado hasta la profundidad afectada por los deterioros –deseablemente sólo la capa de rodadura– y en la posterior reposición con mezclas bituminosas del mismo tipo.

También será necesario intervenir frente a eventuales deterioros funcionales, ya sean debidos a la pérdida o arranque de áridos, al pulido de los mismos, a la disminución de huecos por compactación o por colmatación de mezclas abiertas, etc.

La estrategia de conservación ha de estar prevista desde la fase de diseño; ésta ha de prever cuáles serán las formas de deterioro que afectarán al firme así como los umbrales máximos alcanzables.

Una de las particularidades principales de las estrategias de conservación de firmes de larga duración es el papel de las inspecciones estructurales en base a la deflexión. En esta tipología de firmes, no son de esperar deterioros de tipo estructural, por lo que las deflexiones no muestran un patrón ascendente como ocurre con firmes de vida útil determinada; es más, normalmente, y debido principalmente al endurecimiento del betún de las mezclas, se observará cierta tendencia a la disminución en las deflexiones y, por ende, al aumento de la capacidad portante del firme con el tiempo (Figura 8).

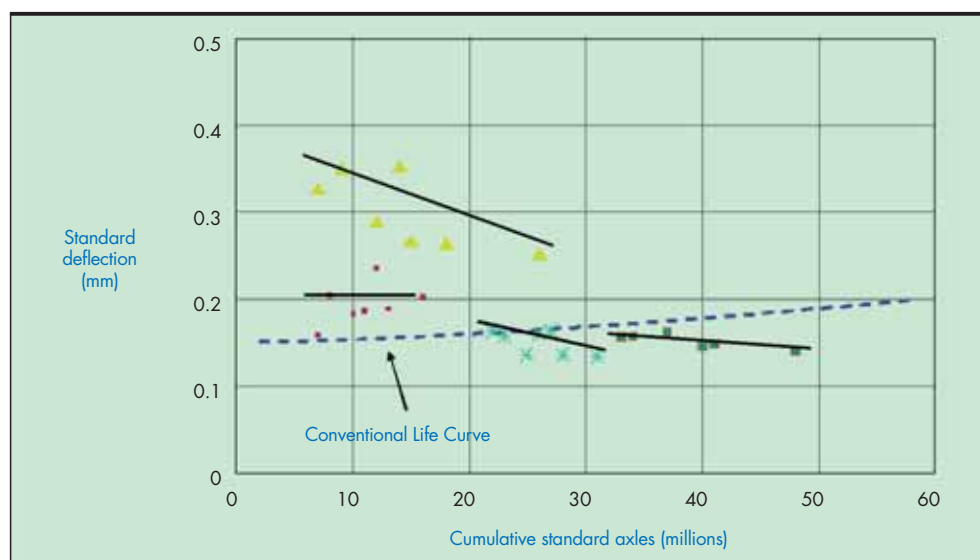


FIGURA 8. Patrón de las Deflexiones en Firmes de Larga Duración
Fuente: Ferne, B. "ELLPAG - the work of the European Long-Life Pavement Group"; Jornada sobre Firmes de Larga Duración; Madrid, España; Febrero, 2008.



FIGURA 9. Programa SHRP 2 – Área "Renewal".

Hay que indicar por otro lado que si el daño sufrido por el firme se manifestase en un aumento importante de la deflexión, entonces el deterioro de una o varias de las capas estructurales sería significativo, lo que obligaría casi con seguridad a una operación de refuerzo costosa o incluso a la reconstrucción total.

En consonancia con lo expuesto, la inspección de este tipo de firmes ha de estar enfocada hacia la detección y evaluación de deterioros de tipo superficial. Será necesario llevar a cabo inspecciones rutinarias con periodicidad preferentemente anual, así como fijar umbrales de deterioro que disparen la intervención a nivel de proyecto.

Cuando se haya decidido intervenir a nivel de proyecto, y con anterioridad a proceder con la rehabilitación, será necesario llevar a cabo una auscultación estructural con un doble fin:

- Verificar las hipótesis de diseño.
- Verificar el buen estado de cada una de las capas estructurales del firme. Caso de detectarse alguna merma en la capacidad portante de las mismas, podría compensarse con un ligero sobreespesor de la capa repuesta.

Es de destacar la importancia que la auscultación de firmes mediante ensayos no destructivos está ganando a nivel internacional. A título de ejemplo, puede citarse que dicho campo constituye uno de los proyectos principales del área "Renewal" del programa estadounidense SHRP 2. La citada área tiene como objetivo principal la renovación de la red viaria mediante tácticas que sean de rápida ejecución, que produzcan un mínimo perjuicio al usuario y que resulten en infraestructuras de larga vida, siendo su lema "Get in, Get out, Stay out" toda una máxima por lo que respecta a la estrategia de conservación de los firmes de larga duración (Figura 9).

6. NOTA FINAL

En la actualidad, resultan muy notables los esfuerzos de investigación en firmes de larga duración a diferentes niveles; ello se plasma en iniciativas como las siguientes:

- A nivel internacional, el Proyecto "Long Life Pavement Surfacing - Phase 3", coordinado por el "Joint Transport Research Center" de la OCDE y del "International Transport Forum". Está enfocada al desarrollo de capas de rodadura de muy altas prestaciones, para una vida útil superior a los 30 años.

- A nivel europeo, el Proyecto ELLPAG "European Long-Life Pavements Group", desarrollado en el seno del FEHRL "Forum of European Highway Research Laboratories". Su misión principal es la elaboración de un estado del arte, a nivel europeo, sobre firmes de larga duración, tanto flexibles como semirrígidos y rígidos.
- A nivel estadounidense, el área "Renewal" del Programa SHRP-2, antes mencionada.
- A nivel español, el Proyecto Fénix "Investigación en Carreteras más Seguras y Sostenibles", una de cuyas 12 líneas de investigación está enfocada específicamente a los firmes de larga duración. Este proyecto, financiado en el marco de la convocatoria CENIT 2007 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, constituye la acción de I+D coordinada más importante que se ha desarrollado en Europa durante los últimos años en este campo.

Para cerrar esta conclusión final, puede afirmarse que a día de hoy, esta innovadora forma de concebir el diseño, la construcción y el mantenimiento de los firmes de las carreteras, constituye uno de los principales retos de la ingeniería de firmes a nivel mundial.

7. CONCLUSIONES

Los firmes de larga duración han venido construyéndose desde hace décadas. Además, ello no requiere de técnicas constructivas distintas de las ya existentes ni de materiales diferentes de los utilizados a día de hoy en los firmes de las carreteras.

No obstante lo anterior, se considera que un riguroso control de calidad durante la construcción, así como un cuidado diseño, son fundamentales para garantizar el funcionamiento apropiado. Además, se han identificado una serie de aspectos específicos de diseño altamente recomendables:

- Disposición de una capa de rodadura de muy alta calidad, que aporte las características superficiales.
- Una capa intermedia de elevadas rigidez y resistencia a las deformaciones plásticas así como de elevado espesor, que aporte la mayor parte de la capacidad estructural del firme.
- Una base bituminosa de reducido espesor, 60-100 mm, con elevado contenido de betún para garantizar que no se supere su umbral de resistencia a la fatiga.

Una de las particularidades de los firmes de larga duración es el diseño frente a mecanismos específicos de deterioro: fatiga convencional (**bottom-up**), fisuración descendente, roderas y despegue entre capas, son los más importantes para firmes de pavimento bituminoso de elevado espesor.

El comportamiento de un firme de larga duración se pone de manifiesto por la ausencia de deterioros de tipo estructural; por el contrario, la capacidad portante del firme no ha de disminuir con el tiempo y sus necesidades de mantenimiento han de estar focalizadas a la capa de rodadura o a los centímetros superiores del paquete de mezclas bituminosas.

La conservación de un firme de larga duración pasa por la pronta detección de los deterioros de tipo superficial (en particular la fisuración descendente y las roderas) y su remedio antes de que puedan afectar a la integridad estructural del firme.

8. AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este artículo ha sido posible en el marco del Proyecto Fénix (www.proyctofenix.es), gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) dentro del marco del programa Ingenio 2010 y, más concretamente, a través del Programa CENIT. Las empresas y centros de investigación que participan en el Proyecto desean mostrar su gratitud por dicha contribución.

Así mismo se reconoce el apoyo del FEHRL, cuya financiación a través del Proyecto ELLPAG, nos ha brindado un marco idóneo de cooperación científica en el que se han elaborado y consolidado los conocimientos fundamentales sobre firmes de larga duración.

Finalmente se agradece a la Dirección del CEDEX por la financiación interna del Proyecto "Estudio del límite de resistencia a fatiga de mezclas bituminosas para desarrollo de firmes de larga duración", cuyos trabajos han contribuido a la elaboración de este artículo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nunn, M. E., A. Brown, D. Weston y J. C. Nicholls. "Design of Long-Life Flexible Pavements for Heavy Traffic". Report No. 250, Transportation Research Laboratory, Berkshire, Reino Unido, 1997.

Comisión Europea. "Action COST 333: Development of New Bituminous Pavement Design Method", Final Report. Comisión Europea, Bruselas, 1999.

Circular del TRB "Perpetual Bituminous Pavements", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2001.

Grupo ELLPAG. "A guide to the use of long-life fully-flexible pavements", ELLPAG Phase 1 Report. FEHRL Report 2004/1, FEHRL, Bruselas, 2004.

OCDE/ITF. "Long-Life surfaces for Busy Roads". ISBN 978-95-821-0158-5, OCDE/ITF, 2007.



PROAS Y GMN FIRMAN UN ACUERDO PARA EL SUMINISTRO DE POLVO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) PARA SU UTILIZACIÓN EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS

PROAS y **GMN** firman un acuerdo para el suministro de polvo procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) para su utilización en la pavimentación de carreteras. **PROAS** (Productos Asfálticos SA), compañía del Grupo **CEPSA** y la empresa Gestión Medioambiental de Neumáticos (**GMN**), han alcanzado un acuerdo comercial para el suministro, por parte de **GMN** a **PROAS**, de polvo procedente de neumáticos fuera de uso (NFUs) que **PROAS** utilizará en la fabricación de una nueva gama de betunes modificados y mejorados con caucho de aplicación en la pavimentación de carreteras.

PROAS, líder tecnológico y responsable de la producción y comercialización de los betunes y sus derivados dentro del Grupo Cepsa, posee una muy amplia experiencia en la fabricación de betunes modificados con polímeros y cuyo mejor ejemplo es la gama Styrelf®, líder del mercado en este tipo de productos.

GMN es una empresa participada por **COMSA** Medio Ambiente, sociedad de **GRUPO COMSA** que ofrece servicios de ingeniería y gestión en el ámbito del agua, los residuos y las energías renovables, y

EMTE, grupo de referencia en el desarrollo de servicios integrales de ingeniería, instalaciones electromecánicas, tecnología y energías renovables. **COMSA** y **EMTE** anunciaron el pasado 7 de mayo un acuerdo de integración con el objetivo de consolidar y ampliar el liderazgo en sus respectivos ámbitos y crear un grupo empresarial con una facturación conjunta de más de 2.200 millones de euros y una plantilla de 8.600 personas.

Desde julio de 2006, **GMN** forma parte de la Red Operacional del Sistema Integrado de Gestión de neumáticos usados, **SIGNUS**, realizando las actividades de recogida de NFU y transformación del residuo en materias primas secundarias, entre las cuales destaca el polvo procedente de NFU.

Ambas compañías, **PROAS** y **GMN**, han desarrollado, durante estos últimos cinco años, un proyecto de I+D conjunto para la incorporación de polvo de NFU en la fabricación de betunes modificados y mejorados con caucho cuyas características técnicas garanticen la estabilidad en su almacenamiento y el cumplimiento de las especificaciones oficiales establecidas.

Como fruto de esta colaboración, **GMN** ha desarrollado una innovadora tecnología de producción para poder procesar masivamente de manera eficiente los NFU lo que le permite disponer de una gama de productos con un alto valor añadido y con un amplio potencial de aplicaciones para diferentes mercados.

PROAS por su parte ha desarrollado y dispone de una avanzada y novedosa tecnología de producción industrial de betún mejorado y modificado con caucho estable al almacenamiento, con un comportamiento óptimo en la pavimentación de carreteras y con el cumplimiento de la más estricta normativa de calidad establecida.

Con este acuerdo y la comercialización de esta nueva gama de productos, **PROAS** y **GMN** dan un paso importante en la mejora de la pavimentación de la red viaria así como colaboran de una forma decidida en el desarrollo sostenible y en la optimización del proceso de gestión medioambiental del reciclado de los neumáticos cerrando su ciclo de vida y devolviendo a la estructura de la carretera un producto diseñado y utilizado para vivir en ella.