

El Inventario como Herramienta de Gestión



The Inventory as a Management Tool

Álvaro Navareño Rojo

Consejero Técnico

Subdirección General de Conservación

Ministerio de Fomento

Resumen

No pueden plantearse actuaciones de rehabilitación de firmes sin conocer las características de los materiales existentes en la carretera (aunque tengamos algunos datos de auscultación). El inventario, integrado en un sistema de gestión de firmes, es una potente herramienta que nos permite planificar, mediante el conocimiento y a través del estudio de la evolución y del comportamiento de la sección del firme, y nos permite además establecer los tramos homogéneos en una red de carreteras, algo absolutamente fundamental en la conservación de una infraestructura de un país avanzado si los presupuestos para ello se mantienen constantes.

En este artículo se presentan los últimos avances, sobre inventario de firmes, en la DGC del Mº fomento, así como algunos resultados y análisis de los datos del mismo, como la idoneidad de los tráficos a las secciones existentes y la tipología de firmes predominante en la RCE.

PALABRAS CLAVES: Conservación, planificación, sistema de gestión de firmes, materiales, tramo homogéneo.

Abstract

We cannot start restoration actions of road surfaces without knowing the characteristics of existing materials on the road (even if we have some data auscultation). The inventory, integrated into a pavement management system is a powerful tool that allows us to plan, through knowledge and study of the evolution and performance indicators of the pavements, and also allows us to establish the homogeneous sections of the road network, which is absolutely essential for the maintenance of the infrastructure in advanced countries if the budgets remain constant for this purpose.

This article presents the latest advances, based on the road surfaces Inventory, from the General Directorate of Highways attached to the Ministry of Public Works and some data analysis and results, and the traffic suitability to existing sections as well as the most common type of road pavements of Spain's Highway Network.

KEY WORDS: : Maintenance, planning, pavement management system, materials, homogeneous section.

1. Introducción

La lógica preocupación por la conservación debida a los requerimientos de **los usuarios, que cada vez exigen una mayor calidad de la infraestructura viaria** viene acompañada además, en los países con mayor nivel de desarrollo y con mayor capacidad de decisión, por la necesidad de la propia Administración, como titular de dicho patrimonio, (que en el caso de la DGC estima en 80.000M euros) de llevar a cabo una buena gestión, ya que el coste de una reparación cuando se ha alcanzado un nivel de daño es muy superior al que origina una actuación preventiva. Esto se fundamenta en el conocimiento e inventario de lo que se va a gestionar y en el seguimiento de su estado a lo largo del tiempo. A partir de estas premisas, aparecen las herramientas llamadas SISTEMAS DE GESTION, que nos permiten organizar y estructurar con distintos niveles de decisión toda la información.

En este artículo desarrollaremos sucintamente la importancia del Inventario de Firms como elemento del Sistema de Gestión de Firms que se encuentra implementado, en actualización permanente, en la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Se ha contado con la asistencia técnica de Getinsa Ingeniería, S.L. para su elaboración y posteriores actualizaciones

2. Objetivos del Sistema de Gestión de Firms

El importante patrimonio constituido por la Red del Estado unido a su diversidad, origina una gran complejidad en la gestión de su conservación. Surge por tanto la necesidad de utilizar un Sistema de Gestión de Firms (Figura 1), como parte integrada en la gestión de la conservación, que constituya una herramienta eficaz al servicio de los técnicos responsables de la Red, al objeto de recoger en el mismo toda la información existente

acerca de su naturaleza, su estado de conservación, su comportamiento, su evolución y las necesidades de actuación en los firms.

Los objetivos del mismo pueden resumirse en:

- Poseer información sobre la tipología y características de los firms (inventario) así como del estado de conservación de los firms (auscultaciones), de una forma objetiva, congruente, operativa y fiable.
- Evaluar su evolución.
- Proponer y valorar el coste de las operaciones de conservación necesarias.
- Optimizar la utilización de los presupuestos disponibles que, en general, son limitados y escasos, proporcionando las estrategias de conservación (preventiva o reparadora) en base a una ordenación prioritaria de las actuaciones, función directa de criterios técnicos y económicos.
- Analizar y controlar las actuaciones realizadas.
- Facilitar el flujo de datos e información entre la Subdirección General de Conservación, las unidades y los sectores.

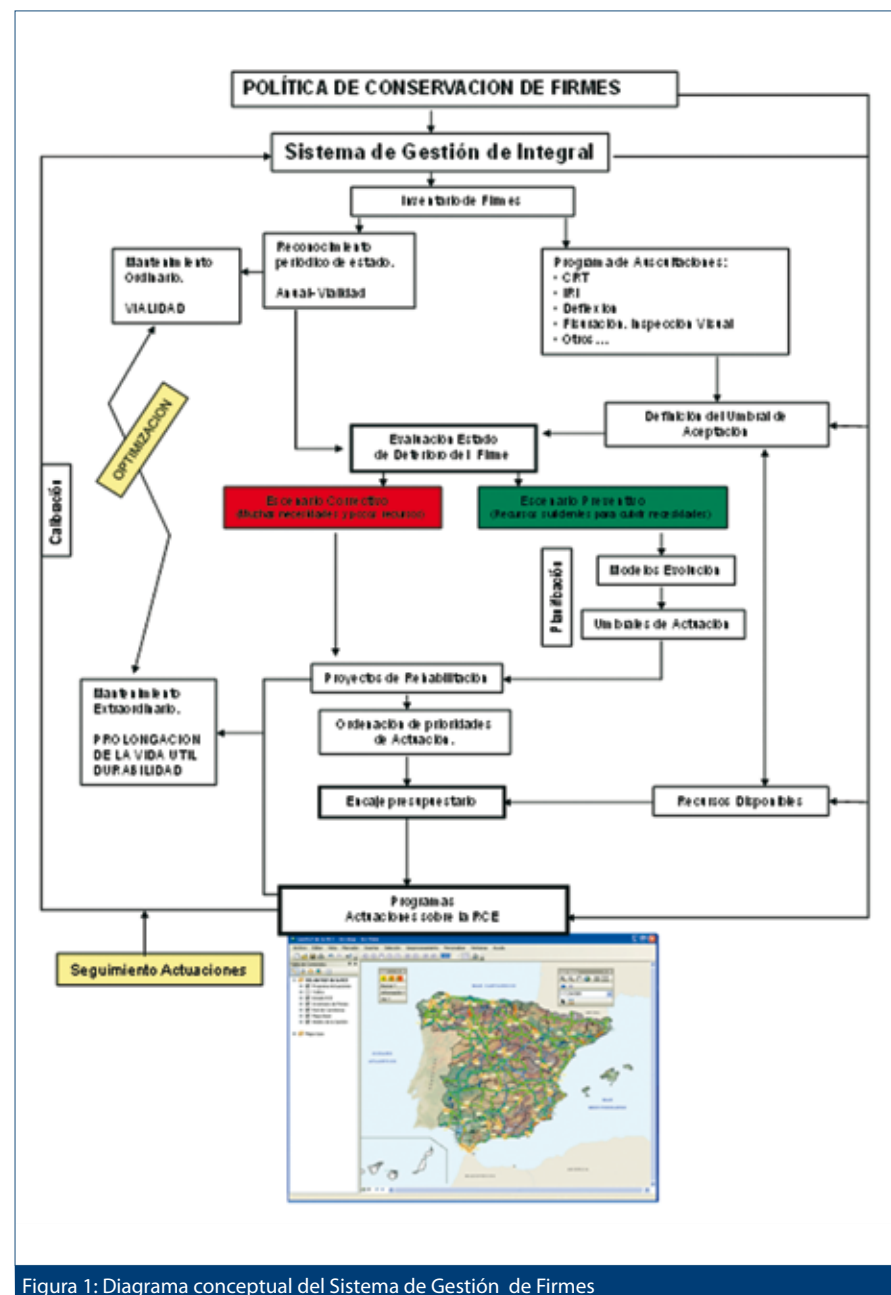


Figura 1: Diagrama conceptual del Sistema de Gestión de Firms

3. Componentes del Sistema de Gestión de Firms de la D.G. de Carreteras.

Se enumeran a continuación los elementos más importantes que constituyen el Sistema de Gestión de Firms que se utiliza en la D.G. de carreteras del Mº de fomento:

Base de datos:

- Inventario
- Tráfico
- Climatología
- Tramificación en zonas de comportamiento homogéneo
- Inspección y auscultación
- Sistema de Georreferenciación

Modelos de evolución:

- Definición de modelos de evolución

Optimización:

- Definición de umbrales de aceptación
- Definición de los distintos tipos de actuaciones de conservación, con su coste
- Condicionantes externos.
- Definición de estrategias atendiendo a diferentes escenarios de actuación
- Programación de actuaciones

Control de la Ejecución de los Programas y Calibración:

- Control y seguimiento de los Programas de Actuación

Dicho sistema es capaz de tratar la gran cantidad de datos disponibles de forma sistemática y ordenada, para lo cual es fundamental partir de una referenciación común para todos ellos, así como de facilitar su actualización. El formato habitualmente utilizado para recoger, integrar y actualizar dicha información es una base de datos. Asimismo es recomendable la coordinación de la información alfanumérica con la gráfica (mapas, fotografías y vídeos).

En este sentido es muy útil la existencia de un sistema de información geográfica (SIG) de toda la Red de Carreteras (RCE), coordinado con el inventario geométrico de la misma, que permite gestionar la in-

formación desde una perspectiva espacial y que es compatible con otros sistemas de la Dirección General de Carreteras.

4. Inventario de Firms de la D.G.C. del Mº Fomento.

4.1 Presentación

La inspección y conservación de los firms de la Red de Carreteras del Estado comenzó a sistematizarse entre los años 1.991 y 1.992, cuando se realizaron las primeras inspecciones visuales del estado estructural de los mismos y su inventario, respectivamente. Dichos datos se cotejaron con los procedentes de la auscultación del coeficiente de rozamiento transversal, que la Dirección General de Carreteras realiza anualmente desde el año 1.987, así como con los datos de tráfico disponibles, dando lugar a lo que podría ser un primer Sistema de Gestión propiamente dicho.

Dicho sistema fue desarrollado por el CEDEX, basándose en una aplicación informática en el entorno MSDos, quien hasta hace pocos años gestionaba su funcionamiento. Debido al tiempo transcurrido desde la creación de esta aplicación, en el que la informática ha avanzado extraordinariamente, así como a la obtención de forma sistemática de numerosos datos por parte de la Dirección General, ha sido preciso llevar a cabo una profunda reestructuración del sistema de gestión, al objeto de convertirlo en una herramienta útil al servicio de los técnicos de la Administración responsables de la conservación de los firms.

Por otra parte, la aplicación de nuevas tecnologías en materia de firms ha sido continua desde mediados del último siglo del milenio pasado, reflejándose en la normativa de la Dirección General vigente en cada momento. En esa época se sabía que era necesario que los firms y pavimentos de las carreteras estu-



vieran constituidos por varias capas de diferente grosor y naturaleza, y que tenían que tener como cimiento las explanaciones obtenidas con los movimientos de tierras. Se estimaba que su misión era proporcionar superficies de rodadura seguras, cómodas y de características permanentes, para lo que, además de resistir las cargas de tráfico sin deformaciones, agrietamientos y otras alteraciones, debían tener una capacidad suficiente de reparto de cargas a la explanada, protegiendo al mismo tiempo a ésta de la intemperie, especialmente de los efectos del agua.

En los años 60 y en el contexto de distintos programas como el REDIA, se dotó a los firms de una superficie cómoda y duradera con el empleo generalizado de mezclas bituminosas en caliente y la ampliación del ancho de calzadas. También es verdad que en esos años, debido al fuerte crecimiento económico, se produjo un aumento considerable del tráfico y las cargas de los vehículos pesados que obligó a reforzar la capacidad estructural de los firms. Se cambió la base de macadam por bases de zahorra artificial y se introdujeron mezclas con cemento, especialmente las bases de grava cemento y las bases y subbases de suelo cemento; y se inició el empleo



Figura 3 : Guía para la actualización del inventario de firmes de la RCE

de bases bituminosas y la construcción de pavimentos de hormigón de forma más o menos habitual. En esos años se publicó la norma de firmes de la instrucción de 1963 que apenas llegaría a aplicarse.

En los años 70 la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (DGC) detectó que aproximadamente un 3% de los carriles por los que circulaba el tráfico pesado presentaba el fenómeno de las roderas debidas a deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas. Por este motivo se modificó la normativa solicitándose requisitos más estrictos para los áridos y el filler, aumentando el contenido de árido grueso y disminuyendo el contenido de ligante de las mezclas. También se detectaron problemas estructurales en secciones con base de grava cemento sobre subbases de zahorras naturales. Por ello, entre otras medidas, se procedió a modificar las secciones estructurales contenidas en la normativa técnica.

En los 80 la normativa técnica experimentó un gran avance con la publicación del PG-3 y las Normas de la Instrucción de Carreteras relativas al dimensionamiento de nuevos firmes, refuerzos de los mismos, etc. Aparecieron también los primeros catálogos de secciones estructurales

normalizadas de firmes de la DCG modificándose así la instrucción de firmes flexibles y rígidos del año 1975.

En la década de los 90 y en los primeros años del siglo XXI aparecieron una serie de novedades muy importantes en materia de firmes de carreteras, en relación con las secciones estructurales, el empleo de materiales nuevos, el reciclado de firmes y el empleo de materiales usados.

La gran cantidad de cambios y modificaciones en la composición de las secciones y los materiales que se ponen de manifiesto en este breve recorrido por los últimos 60 años de los firmes en las carreteras españolas, son más que suficientes para entender la enorme heterogeneidad que se puede llegar a encontrar en los aproximadamente 31.000 kms de calzada cuya conservación es competencia de la DGC. **Inventariar esta heterogeneidad es, sin duda, un trabajo arduo pero imprescindible para el conocimiento de la red y la adecuada planificación y realización de las labores de conservación.**

Una conservación adecuada debe planificar, con tiempo para su programación, actuaciones preventivas encaminadas a evitar los deterioros del firme. Para ello, la DGC se apoya en un Sistema de Gestión de Firmes que permite a los técnicos responsables tomar decisiones basándose en los datos contenidos, entre otros, en el Inventario de Firmes.

Este inventario, como se puede intuir, es complejo por la propia evolución de las normativas y de las características de las actuaciones que sobre él se hayan producido, pero, no cabe duda, que es del todo necesario.

Por todo lo expuesto anteriormente, se ha elaborado recientemente la **"Guía para la actualización del inventario de firmes de la RCE"** que, con vocación didáctica, presenta los pasos a seguir para la actualización del Inventario de los Firmes de la Red de Carreteras del Estado.

4.2 Organización del Inventario

El inventario de los firmes, debe disponer, de forma estructurada, la información relativa a los firmes desde el punto de vista de sus características superficiales, estructurales y geométricas. Son destacables las **modificaciones llevadas a cabo en las fichas del inventario de firmes con el propósito de recoger todas las novedades en materia de firmes: reciclado, nueva nomenclatura de mezclas, etc.** Este nuevo formato de inventario de firmes, para facilitar la importante labor de actualización que realizan las unidades y los sectores, se ha estructurado, dentro de su complejidad, de la forma más sencilla posible.

El nuevo modelo de inventario elaborado desde la DGC se organiza en base a dos fichas de datos que responden a las circunstancias que se pueden presentar en el momento de la actualización y que son las que a continuación se indican:

Ficha Firme Inicial: En ella se almacena la información relativa al firme inicial, es decir, la sección estructural que se construyó por primera vez sin tener en cuenta las posteriores actuaciones que hayan podido tener lugar.

Ficha de Rehabilitación y mejora: En esta ficha se almacena la información relativa a las actuaciones de rehabilitación y mejora que se hayan podido ejecutar sobre un firme ya construido e inventariado anteriormente.

La metodología a emplear para obtener y actualizar dicha información es, en una primera fase, partir de los proyectos de construcción o rehabilitación o del conocimiento que del mismo tienen los responsables de la carretera, y en su defecto o como complemento, la utilización de equipos de alto rendimiento como georradar3D. Por último, se puede recurrir a la extracción de testigos y catas en el firme.

5. Análisis y Aplicación del Inventario de Firms

En los siguientes apartados, se presentan una serie de datos obtenidos de la campaña de inventario 2011, recopilada a través de las distintas unidades y servicios de conservación de la DGC del M° de Fomento, y en particular de los correspondientes sectores de conservación con un grado de actualización en torno al 80% de la Red. El total de kilómetros de calzada con registros completos de datos fue de 28.649kms. En junio de 2012 se va a realizar una nueva campaña, donde se espera aumentar al grado de actualización y mejorar la fiabilidad de los datos obtenidos.

5.1 Analisis de Diversos Datos.

La existencia de un buen inventario posibilita la consulta y explotación de los datos en función de lo que el gestor pretenda analizar. A continuación se muestran algunos ejemplos.

Tabla 1: Longitud de calzadas y carreteras

Longitud	Kilometros
Carreteras inventariadas	23.282,43
Carreteras con calzada única	14.730,97
(*) Carreteras con mas de una calzada	8.551,46
Calzadas	31.681,08
Calzadas que no son unicas	16.950,11

(*) Las longitudes que se han considerado corresponden a la calzada 1 (derecha), por esa razón, la longitud de calzadas totales no coincide con la de carreteras con calzada única más dos veces la de las carreteras con más de una calzada.

De los datos suministrados por el inventario de firms, se han obtenido las longitudes expresadas en kilómetros en las que se ha distinguido entre kilómetros de carretera y kilómetros de calzada (Tabla 1)

En la figura 4 se muestran los materiales que componen la capa de rodadura de los firms de la red.

Otro factor de interés, es el momento en que se colocaron las capas de rodadura. La edad media de las ca-

pas de rodadura es de 10 años, dato que proporciona una idea del periodo de renovación superficial de la red.

En la figura 5 se puede ver la distribución de las capas de rodaduras según el año en que se colocaron. Se observa qué en el periodo 2005-2010 se ha actuado sobre el 42% de la red.

En la figura 6 se pueden apreciar los volúmenes de los materiales que constituyen el conjunto del firme.

En lo referente a la tipología de fir-

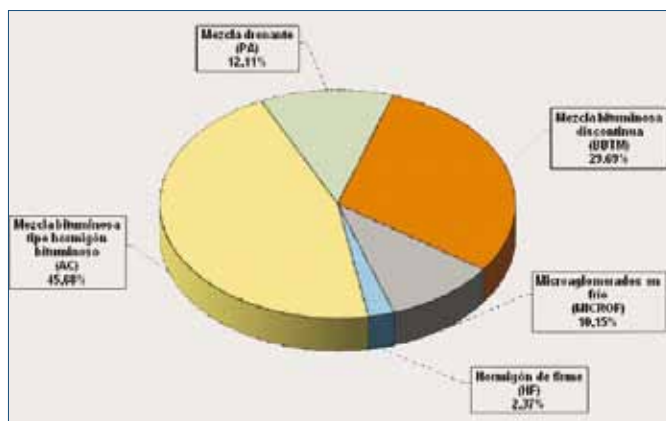


Figura 4. Distribución de materiales de rodadura según la longitud de calzada.

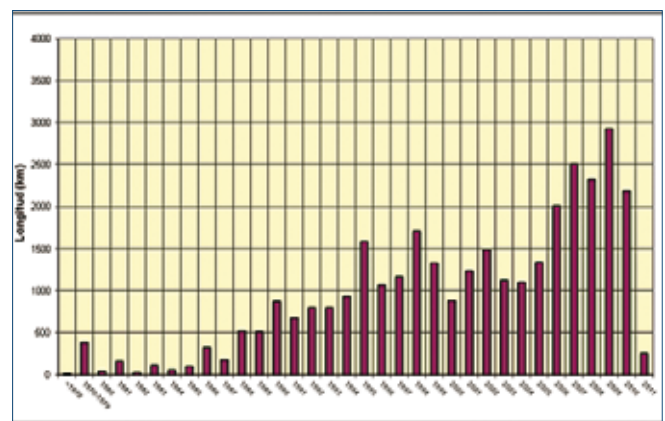


Figura 5. Distribución de fechas de las capas de rodadura

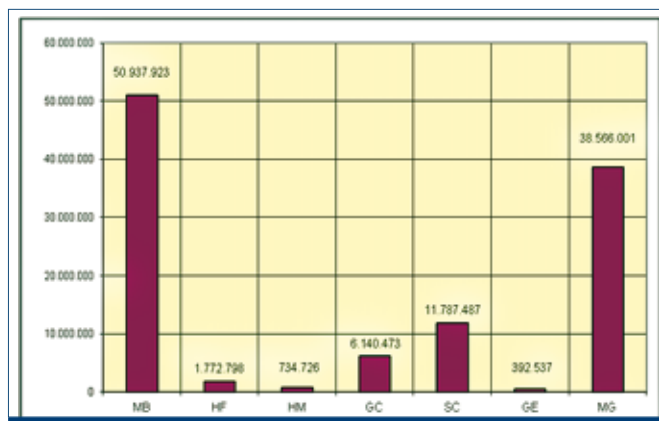


Figura 6: Volumen de los materiales en los firms sólo en calzadas (m³)

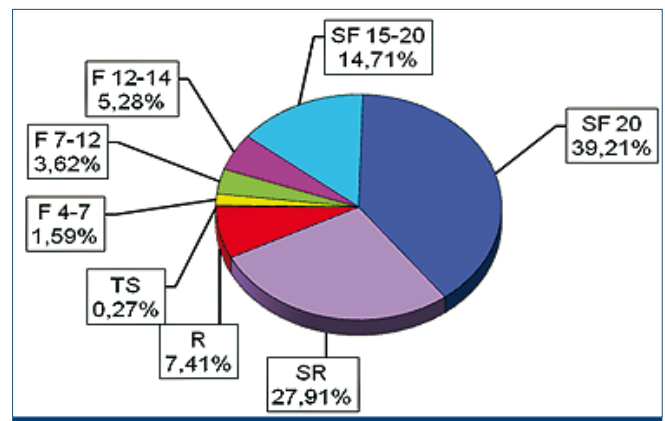


Figura 7. Tipos de firms.

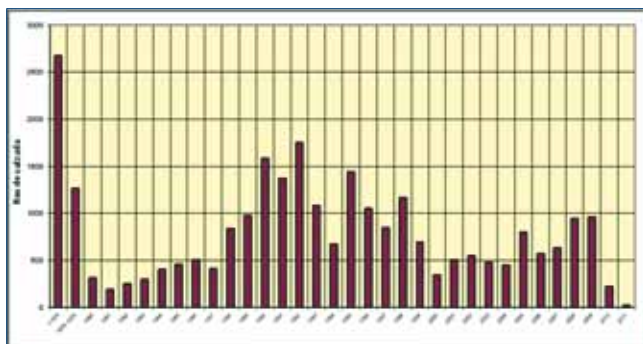


Figura 8. Distribución de la edad de los firmes

mes de la RCE, conviene destacar que casi el 81,83 % de su longitud está compuesta por firmes semiflexibles y semirrígidos.

La figura 7 muestra la distribución de los tipos de firmes en el conjunto de la red.

En el porcentaje de pavimentos de hormigón se incluyen los firmes sobre tableros de estructuras. En la figura 4 se aprecia que el porcentaje de km de rodadura de hormigón respecto del total de la red es un 2 %, es decir, un 5.41% de los pavimentos de hormigón cuentan con una "rodadura" bituminosa.

En la figura 8 se muestra la distribución de la longitud de calzada según la fecha de los firmes en toda la red inventariada.

Se puede observar que en el pe-

riodo de 1990 a 1995 se puso en servicio el 25% de las calzadas de la red. También se obtiene del inventario que el 64,7 % de la red tiene una edad estructural superior a 7 años.

En la tabla 2 se resumen los datos sobre últimas, penúltimas y antepenúltimas actuaciones

Teniendo en cuenta que el espesor medio de la mezcla bituminosa en los firmes de la red es de 22 cm, se ha hecho "la suposición" de que están formados por 7 cm de mezcla tipo D, otros 7 cm de tipo S y los 8 cm restantes de tipo G. En la figura 9 se aprecia el valor de reposición estimado de cada uno de los materiales que componen el firme sin en tener en cuenta los arcenes, a precios actuales, y suponiendo un estado de conservación aceptable.

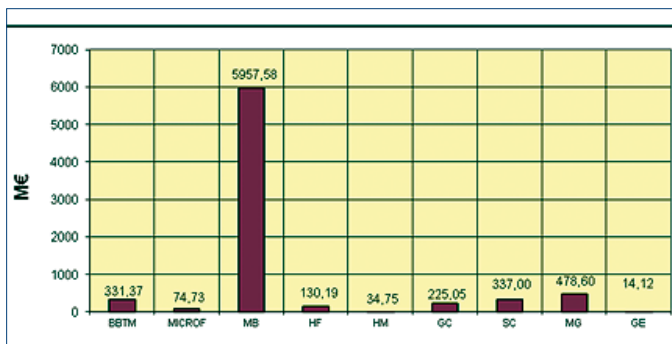


Figura 9. Valoración de los materiales de la red (Millones de €)

5.2 Adecuación de los Firmes al Tráfico que Soportan

En las figuras 10, 11 y 12 se muestra la distribución porcentual de los tipos de firmes según la categoría de tráfico pesado que soportan.

En términos generales se observa que los firmes son adecuados a las cargas que soportan. Para las intensidades de tráfico pesado más altas los tipos de firme presentan una mayor rigidez, mientras que para intensidades menores los firmes son más flexibles.

A título de ejemplo se presentan las distribuciones para tráficos T00, T0 y T1.

6. Particularidades del Inventario de Firmes

El Inventario de firmes, integrado en el Sistema de Gestión de Firmes, es una herramienta fundamental al servicio de los técnicos responsables de la gestión de las carreteras ya que:

- Es la base sobre la que se debe sustentar cualquier modelo de gestión, porque nos permite "conocer" lo que queremos gestionar.
- Ha de tenerse en cuenta en primer lugar el grado de detalle que se desea alcanzar, por la implicación en los costes que supone y en su viabilidad como herramienta.
- Un buen inventario de firmes, debe estar coordinado con los responsables de construcción, conservación y proyectos de carreteras, indistintamente, para garantizar su fiabilidad, homogeneidad y óptima utilización de los recursos necesarios en tiempo y forma.

Tabla 2. Últimas, penúltimas y antepenúltimas actuaciones

Espesor medio de los últimos refuerzos	9,94 cm
Desviación típica de los últimos refuerzos	6,31 cm
Espesor medio ponderado de los últimos refuerzos	9,18 cm
Longitud de calzadas con últimas actuaciones de refuerzo:	13.051,2 km
Espesor medio de los penúltimos refuerzos:	8,60 cm
Desviación típica de los penúltimos refuerzos:	5,07 cm
Espesor medio ponderado de los penúltimos refuerzos:	8,89 cm
Longitud de calzadas con penúltimas y últimas actuaciones de refuerzo:	10.995 km
Duración media de las penúltimas actuaciones:	7,94 años
Duración media ponderada de las penúltimas actuaciones:	7,87 años
Espesor medio de los antepenúltimos refuerzos:	8,09 cm
Desviación típica de los antepenúltimos refuerzos:	4,18 cm
Espesor medio ponderado de los antepenúltimos refuerzos:	8,03 cm
Long. de calzadas con antepenúltimas y penúltimas actuaciones de refuerzo	4.468,6 km
Duración media de las antepenúltimas actuaciones:	8,34 años
Duración media ponderada de las antepenúltimas actuaciones:	8,48 años

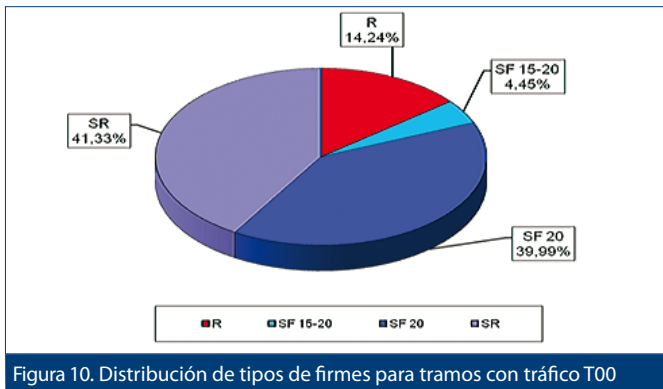


Figura 10. Distribución de tipos de firmes para tramos con tráfico T00

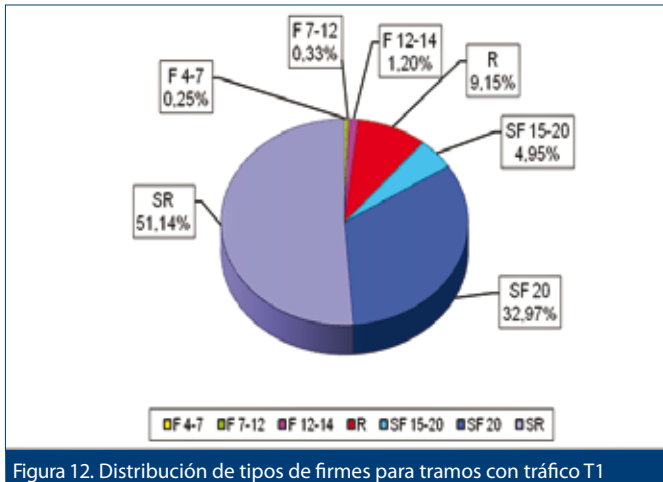


Figura 12. Distribución de tipos de firmes para tramos con tráfico T1

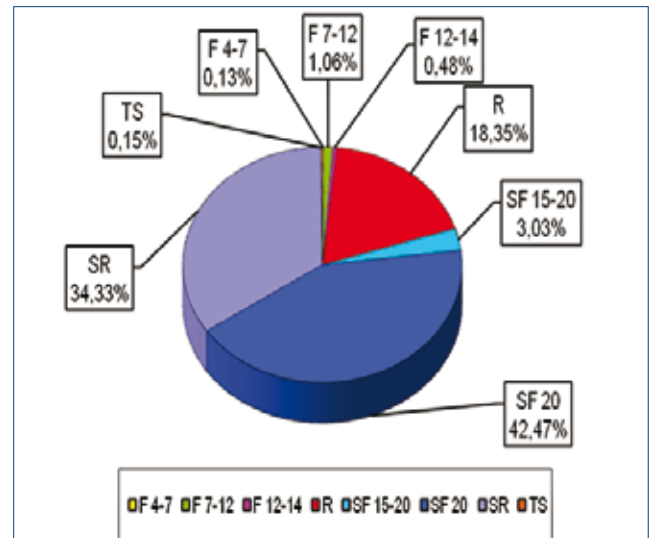


Figura 11. Distribución de tipos de firmes para tramos con tráfico T0

Tabla 3 : Datos de la RCE *

Longitud de calzada de la RCE	31.681 km
Longitud de calzada de vías de gran capacidad (RCE)	16.950 km
Calzadas de gran capacidad respecto a toda la RCE	53,50 %
Longitud de calzadas con últimas actuaciones de refuerzo:	20 %
Tráfico de pesados respecto al total de carreteras españolas	63 %

* De acuerdo con el inventario del SGF actualizado a 2011.. En los datos de la RCE no se han considerado autopistas de peaje ni contratos de autovías de 1ª generación

- Si se tiene información de los ensayos de control de obra se puede aumentar mucho la precisión del mismo, y mejorar la calidad del estudio del comportamiento de los firmes en su conjunto y de los materiales, lo cual permite retroalimentar el sistema de gestión, y mejorar enormemente el diseño y concepción de los mismos, adaptados a la climatología y a las sollicitaciones existentes realmente.
- Normalmente, esta lógica disposición de la información no se da, o no se realiza, siendo necesario realizar el inventario con posterioridad a las obras, lo cual resulta mucho más costoso y menos preciso.
- El análisis del Inventario de firmes nos permite conocer el tipo de firme, fundamental para una primera aproximación al estudio de su comportamiento y evolución, también tratar de determinar cuáles son los parámetros que principalmente gobiernan el comportamiento de las distintas capas, también determinar su evolución y nivel de servicio hasta alcanzar una determinada vida útil, conociendo la edad del mismo.
- Otro aspecto fundamental en el análisis es **la determinación de las zonas o tramos homogéneos, desde el punto de vista de su comportamiento**; para lo cual, la existencia de un inventario de firmes facilita enormemente su determinación, **lo cual permite realizar una adecuada planificación de la futuras actuaciones de rehabilitación** a partir del conocimiento de estas zonas de similar comportamiento. Este aspecto permite determinar el verdadero grado de madurez de un sistema de gestión, **lo cual no solo es posible con una herramienta informática avanzada (SGF), sino con una necesaria constancia y estabilidad en los presupuesto destinados a la conservación de los firmes, que permitan poner al día los tramos en mal estado, y aseguren una estrategia de gestión preventiva, a través de la constancia de la inversión.**
- Por último, para la Red de Carreteras del Estado, supone un gran avance tener la Red dividida en tramos de conservación integral, que permiten,

además de mantener la vialidad, conocer adecuadamente los tramos de carreteras y haber desarrollado la web, con el inventario, que permite la introducción de datos, su consulta, el flujo de información y las gestiones entre la Subdirección, las unidades y los distintos sectores de conservación.

7. Referencias Bibliográficas

- [1] Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. Dirección General de Carreteras. "Guía para la actualización del inventario de firmes de la RCE". Septiembre 2011
- [2] Ministerio de Fomento. CEDEX. "Informe Técnico: Actualización del inventario de firmes". Diciembre 2005. (No publicado)
- [3] Ministerio de Fomento .CEDEX. "Desarrollo Práctico de los Sistemas de Gestión de Firmes". Oscar Gutiérrez-Bolívar y Francisco Achútegui. 2003.
- [4] X Jornadas de Conservación de Carreteras. ATC. "Ponencia: Sistemas de Gestión de Firmes". Álvaro Navareño. 2006. ❖