

Implantación y aplicación de un sistema de gestión a la conservación de una red de autopistas

Por J. del Pozo Velasco

La gestión del firme en una vía de comunicación, en este caso de una red de autopistas, requiere el conocimiento del estado actual de la misma y la previsible evolución de su estado a lo largo del tiempo.

Para representar el estado actual de un firme es necesario elegir los parámetros adecuados al propósito de la propia gestión del mismo. Los índices más utilizados son aquellos que se relacionan directamente con alguna de las funciones que se exigen al pavimento. Estas funciones, así como las calidades que las definen y los parámetros de medida correspondientes, son las siguientes (ver cuadro inferior).

La función estructural depende de la propia capacidad resistente (materiales y espesores), así como del estado de envejecimiento de la rodadura, pues ésta se puede microfisurar y rigidizar hasta desprenderse del resto de las capas, con el consiguiente debilitamiento de la sección.

La seguridad con rodadura seca está relacionada con el coeficiente de rozamiento aún cuando, en una auto-



La función estructural depende de la propia capacidad resistente, así como del estado de envejecimiento de la rodadura.

pista, sea problemático encontrar alguna relación entre la accidentalidad en seco y este parámetro.

La textura, sin embargo, tiene una influencia fundamental en la seguridad con pavimento mojado, tanto en la proyección de agua de los vehículos, como en la falta de adherencia

neumático-superficie de rodadura, y por lo tanto, en la distancia de frenado o en el hidroplaneo.

Asimismo, la textura está relacionada con el confort a través de la producción o disminución de ruido.

La regularidad superficial es una calidad que afecta al confort y seguridad del usuario, habiéndose encontrado relaciones entre la mala regularidad superficial y el decaimiento de las facultades del conductor, como son: menor resolución visual y alteración del ritmo respiratorio y cardíaco.

La red de autopistas de ACESA está constituida en un 90% por estructuras del tipo semirrígido, y de las que pueden denominarse incompletas, es decir, la estructura final se desarrolla en diversas fases que se hacen corresponder con la evolución del tráfico.

El 10% restante está constituido por estructuras flexibles correspondiendo, en general, a cimientos competentes donde el firme semirrígido no parecía adecuado.

El parque nacional de vehículos, y por lo tanto el espectro de cargas que afectan a nuestras autopistas, ha sufrido unas variaciones a lo largo del

Función	Calidad	Parámetro de medida
Estructural	Capacidad resistente	Deflexión
	Envejecimiento	Inspección visual
Seguridad	Rozamiento	Inspección visual
	Regularidad superficial	CRT (Scrim)
		IRI
		Análisis espectral
Confort	Textura	Rugoláser
		Mancha de arena
	Regularidad superficial	IRI
		Análisis espectral
	Textura	Rugoláser
		Mancha de arena

“**E**l tráfico que pasa por cada dirección de una estación será la suma del producto del número de vehículos de cada clase, o grupo de ejes, por su coeficiente de

”

tiempo que ha hecho que las hipótesis que en su día fueron razonables, se quedaran sobrepasadas por la realidad.

Como ejemplo, puede ser aclaratorio que el coeficiente de equivalencia de un vehículo pesado en ejes de 13 t, era de 0.50 en la antigua norma 6.1.I.C., habiéndose medido recientemente en nuestra red de autopistas, coeficientes que van desde 0.80 a 1.20.

En la *Figura 1* pueden verse los distintos coeficientes de equivalencia de la Estación de Peaje Granollers.

Por otro lado los materiales más granulares presentan con frecuencia una sensibilidad exponencial de su CBR respecto de la compactación, con lo que los cimientos pueden no ser tan competentes como algunos resultados de ensayos de laboratorio al uso puedan indicar.

Además las explanadas ejecutadas con materiales finos, una vez cubiertos con el firme, evolucionan hacia su humedad de equilibrio, decayendo su módulo de reacción a veces de forma importante.

En la *Figura 2* se ve la variación del CBR para distintos tipos de suelos compactados al 100% de la densidad Proctor, pero con 4 puntos menos de la humedad óptima. Estas son condiciones reales que se han dado en la obra.

De otra parte, los cambios volumétricos inducidos por los hinchamientos originados por la hidratación de ciertos componentes de los suelos, colapsos en los terraplenes, etc., juntamente con la heterogeneidad de los propios suelos, hacen que la reacción homogénea que se produce sobre el cimiento posterior a la construcción, se ven alterada.

Esta alteración produce, de una parte, zonas con mayor reacción que pueden dar lugar a roturas si el gradiente de cambio es muy rápido, y de

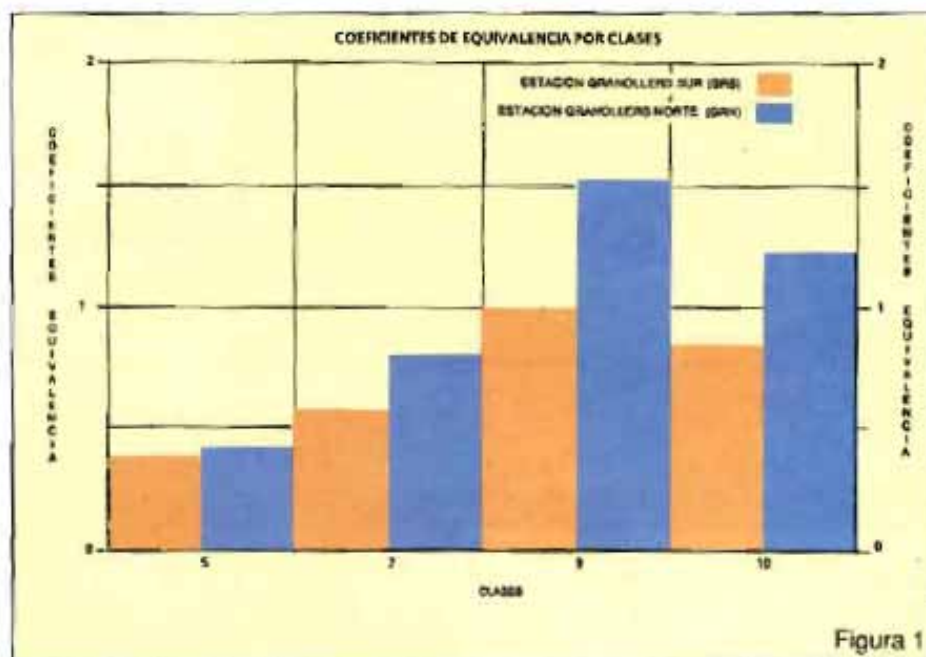


Figura 1

otra, zonas de módulo de reacción más bajo.

Estos hechos, conjuntamente con la circunstancia de tratar con estructuras incompletas, obliga a prestar una atención especial a la estructura, teniendo en cuenta, como luego se verá, que las operaciones necesarias para mantener ésta, mejoran igualmente el rozamiento, regularidad superficial, textura, etc.

Los índices de estado, que representan cada una de estas calidades del firme, se llevan por separado para tener una información suficientemente resolutoria del estado integral del mismo.

Banco de datos

La estructura del Banco de Datos que se está utilizando consiste básicamente en un ordenador central tipo

FACOM M-360 donde se incluye la información fundamental. Asociados a este macroordenador, mediante una red del tipo ETHERNET, se dispone de una serie de ordenadores tipo PC cuya misión es introducir datos en el central, consultar archivos, generar, en base a los anteriores, nuevos archivos para aplicaciones concretas, y explotar la información mediante diversos softwares comerciales u otros elaborados por ACESA para aplicaciones concretas.

La información básica introducida en el ordenador central es la siguiente:

Tráfico

El tráfico de la autopista está clasificado automáticamente en cuanto que se registra el número de ejes en las Estaciones de Peaje. Para conocer

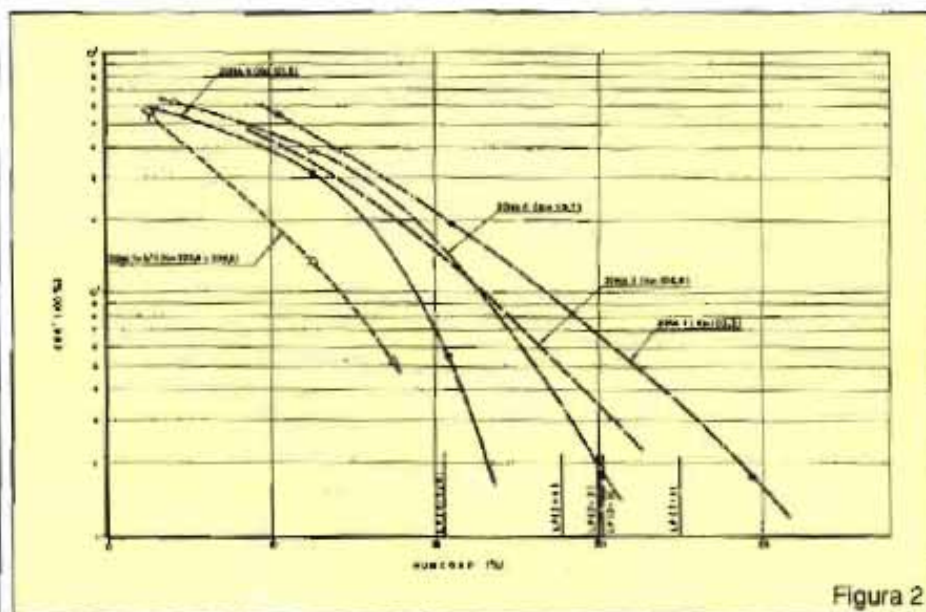


Figura 2

el espectro de cargas es necesario asociar un coeficiente de equivalencia a cada grupo de ejes y Estación de Peaje.

Esto se ha conseguido mediante la instalación de básculas dinámicas en diversas estaciones durante una semana en cada dirección, obteniendo una población suficientemente representativa para obtener estos coeficientes.

El tráfico que pasa por cada dirección de una estación será la suma del producto del número de vehículos de cada clase, o grupo de ejes, por su coeficiente de equivalencia.

Estructura

Para caracterizar las diversas capas de la estructura se introducen los siguientes datos:

- Espesor de las capas y fecha de construcción.
- Características geotécnicas y mecánicas del cemento.
- Id. de los materiales granulares.
- Características mecánicas de la grava cemento.
- Formulación, tipo de áridos y % de betún de las capas de base.
- Formulación, tipo de áridos, % de betún y tipo de betún de las capas de rodadura.
- Id. de las diversas capas de refuerzo.

La heterogeneidad de todos estos datos hace que, para poder incluirlos en el Banco de Datos, se divida cada una de las capas en zonas "relativamente homogéneas" que ocuparán un registro. Así pues, para cada una de las capas, a la vista de la distribución

espacial de los datos, se tendrá que hacer una zonificación que podría realizarse automáticamente mediante un programa, aún cuando dado que estos datos no se les ha considerado variables en el tiempo, solamente deberá hacerse una vez.

La intersección vertical de todos los registros de las distintas capas, juntamente con el tráfico, dará lugar a lo que se ha denominado *zona homogénea*, es decir, una longitud de firme de comportamiento parecido.

Esta intersección se hace automáticamente mediante un programa llamado ZEH residente en el host que lista todas las zonas homogéneas y sus características.

Puede también optarse por caracterizar a determinadas magnitudes como son espesores, roturas a compresión, etc., de una holgura a elegir, de tal forma que de varias zonas de una capa se puedan hacer una sola, haciendo la intersección posteriormente.

Datos de auscultación

En la actualidad se están tomando los siguientes datos:

- Deflexión (Lacroix 03).
- Regularidad superficial (ARS).
- Rozamiento (Scrim).
- Textura (Mancha de arena y Rugoláser).
- Inspección visual (Tradicional y video).

La medición de la textura mediante el rugoláser y la inspección visual en video se han incorporado últimamente.

Los datos de deflexión se proce-

san en cintas magnéticas mediante el propio FACOM M-360, obteniéndose los siguientes archivos:

- Histograma de deflexiones en zonas homogéneas elegidas.
- Población de deflexiones y radios de curvatura en zonas saneadas (por lo tanto con estructura distinta).
- Relación de deflexiones mayores que un umbral, a elegir (generalmente se toma 35×10^{-2} mm), en zonas no saneadas.

El rozamiento se incluye a través de un histograma de valores para zonas de longitud elegida.

La regularidad superficial se describe mediante una clasificación por tramos en los que su IRI está entre umbrales determinados, (se toma, menor que 2 cm/10 m, entre 2 y 3 cm/10 m y mayor que 3 cm/10 m).

La inspección visual tradicional se efectúa anualmente y de ella se extrae información sobre grietas transversales y longitudinales, envejecimientos, cuarteos, grietas de fatiga, textura y singularidades relativas a la regularidad superficial.

Para facilitar esta labor y para cuantificar con más rigor las distintas degradaciones se ha incorporado recientemente el rugoláser y la visualización de la calzada mediante el video.

Los datos de auscultación inciden también sobre la formación de zonas homogéneas, pudiendo optarse por dividir alguna de ellas originado fundamentalmente por las deflexiones.

En la Figura 3 se muestran varios tipos de fichas de entrada de datos,

TRAFICO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ACCION AUTOPISTA		REFERENCIA			FECHA		IMO VEHICUL. TOTALES	IMO VEHICULOS PESADOS POR CLASES						VE EJES DE 131. EN EL PERIODO ($\times 10^6$)	VE EJES DE 131. ACUM. ORIGEN ($\times 10^6$)	VEHICULOS TOT. ACUM. A ORIGEN ($\times 10^6$)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		P. K. INICIAL	P. K. FINAL	05				06	07	08	09	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					AÑO	MES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
ST00004	AL			19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

CARACTERISTICAS DEL CEMENTO

ACCION			REFERENCIA		AÑO	ENSAYO CBR				TAMIZ		INDICE		LIMITE		PROCTOR NORMAL				% PN		TIPO DE SUELO	OBSERVACIONES
AUTOPISTA	P. K. INICIAL	P. K. FINAL	% PROCTOR NORMAL	C. B. R.		200		Nº 4		PLAST.		PLAST.		DENSIDAD		HUMEDAD		COMPAC					
				MEDIA		DESV.	MEDIA	DESV.	MEDIA	DESV.	MEDIA	DESV.	MEDIA	DESV.	MEDIA	DESV.	MEDIA	DESV.	MEDIA	DESV.			
ST00003	ALA					19																	

Figura 3

SCRIM CARRIL DERECHO

ACCION	AUTOPISTA	REFERENCIA		ROZAMIENTO %											
		P. K. INICIAL	P. K. FINAL	FECHA		AÑO	MES	DÍA	DÍA	DÍA	DÍA	DÍA	DÍA	DÍA	DÍA
				ARO	MES										
MTD0004	AB			19											

Figura 3 (cont.)

con el diseño de los registros correspondientes.

Establecimiento del modelo de comportamiento

Una vez conocidas las secciones de la red, la descripción interna de las distintas capas, el tráfico, la respuesta del firme a los distintos aparatos de auscultación, juntamente con la inspección visual, se está en condiciones de establecer un modelo de comportamiento que represente al firme.

El modelo teórico utilizado para representar la estructura ha sido la solución de un sistema multicapa elástico según las ecuaciones de Burmister. Esta solución se encuentra disponible en varios softwares comerciales como el ALIZE, CHEVRON, BISTRO, ECOROUTE y otros.

Todas las capas tendrán una caracterización función de determinados parámetros introducidos en el Banco de Datos, como son: CBR, compactaciones y humedades de equilibrio en

los suelos; roturas a compresión en la grava cemento; índice de huecos, porcentaje y tipo de betón para las mezclas bituminosas, etc.

La intersección de estas heterogeneidades con el tráfico arroja la variedad de comportamiento que se observa en la realidad.

En las obras donde el control de ejecución ha sido importante, puede suponerse, sin pérdida excesiva de exactitud, que el comportamiento de la estructura es una función muy fuerte del módulo de reacción del cimiento, con lo que representando a éste por una distribución estadística determinada, se pueden obtener, utilizando el análisis racional, las curvas de comportamiento de los diversos tramos de la red.

El representar al cimiento mediante una población estadística, supone obtener para un módulo de reacción determinado, una probabilidad de existencia y una vida por lo tanto, para un tráfico dado se obtendrá un porcentaje de zonas rotas en el tramo analizado.

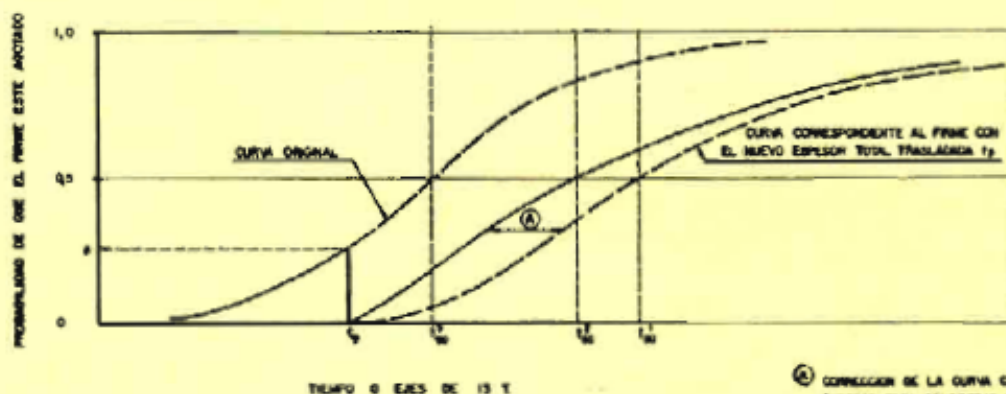
En la Figura 4 se muestra una curva de degradación estructural calculada, así como el efecto que tendría un refuerzo del firme sobre la misma.

Comparando el porcentaje de zonas rotas con el porcentaje de grietas de fatiga encontradas en la inspección visual, se corregirá el módulo de reacción del cimiento hasta obtener curvas de comportamiento compatibles con la realidad. Este contraste, realizable solamente en aquellos tramos donde ya hubiera roturas, servirá para estimar los cimientos de los tramos donde no las haya.

Las operaciones a realizar para la asignación de las curvas de degradación estructural, serían las siguientes:

- Caracterización estadística de la población de deflexiones.
- Aplicación de esta población a su correspondiente de módulos de reacción del cimiento a través del análisis racional.
- Establecimiento de las curvas de degradación provisionales.
- Verificación del porcentaje de zonas rotas con la inspección visual.

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE AGOTAMIENTO EN EL FIRME MODIFICACION DE LA CURVA DE DISTRIBUCION POR DEFECTO DE UN REFUERZO EN EL TIEMPO t_p



A CORREGIR DE LA CURVA CON EL NUEVO ESPESOR PARA CONSEGUIR LA VIDA RESIDUAL CORRESPONDIENTE AL PASO DE t_p EJES EN EL TIEMPO t_p

Figura 4

- Corrección de la media, no de la varianza, de la población de módulos de reacción del cemento, hasta encontrar un porcentaje de zonas rotas aplicable a la inspección visual.

- Establecimiento de coeficientes de relación entre las deflexiones teóricas y las medidas con deflectógrafo.

- Id entre módulos de reacción teóricos y medidos en catas, etc.

Programa de Gestión Sistemática del Firme (GSF).

ACESA ha desarrollado un programa a nivel de zona homogénea, mediante el que pueden conocerse las diversas operaciones que será necesario realizar para mantener la estructura en un estado determinado, así como los momentos en los que deberán realizarse.

El programa funciona de la siguiente forma: una vez asignada una curva de comportamiento a cada zona homogénea, la matriz de curvas correspondientes a las distintas operaciones posibles, la prognosis de tráfico y estableciendo un máximo de zonas rotas admisibles, se calcula cuáles son las operaciones de coste óptimo a realizar en un espacio de tiempo determinado.

Las distintas clases de operaciones a realizar se pueden variar en el programa, aunque en la actualidad se contemplan tres:

1. Saneos selectivos en las zonas agotadas y una lechada bituminosa en toda la rodadura, para homogeneizar la misma.

2. Saneos selectivos en las zonas agotadas y refuerzo de 5 cm en toda la calzada.

3. Saneos selectivos en las zonas agotadas y refuerzo de 10 cm en toda la calzada.

Estas operaciones se efectúan, como se ha dicho, para rehabilitar la estructura. Sin embargo, suponen una mejora añadida para otras calidades.

Operación Mejora añadida

- | | |
|---|--|
| 1 | Textura y rozamiento |
| 2 | Textura, rozamiento y regularidad superficial (Extendiendo a espesor variable) |
| 3 | Textura, rozamiento y regularidad superficial (Extendiendo a espesor variable) |

El número de zonas homogéneas de una red es elevado, pues la intersección de características de las diferentes capas, tráfico y datos auscultación origina una población numerosa. El asignar una curva de degradación a cada una de ellas, corregir según la inspección visual, etc., es una operación, que si bien puede hacerse para analizar determinadas zonas significativas, a nivel de red es un trabajo engorroso que puede agilizarse sin pérdida sensible de exactitud.

En el programa GSF se han sintetizado todos los diferentes comportamientos en una familia de 14 curvas que cubren desde las estructuras más débiles a las más fuertes.

Aún cuando analíticamente las curvas tienen una forma de ese, para simplificar su formulación se han supuesto de la siguiente forma:

$$I(t) = 100 - A t^B$$

siendo:

$I(t)$ = Índice de estado estructural (porcentaje de zonas sin agotar, res-

“Una vez establecido el umbral admisible de zonas rotas, el período de estudio y el interés diferencial, el programa GSF calcula, utilizando las curvas simplificadas, todas las posibilidades de actuación en base a las operaciones definidas.”

pecto del total de la zona).

t = Tráfico en millones de ejes de 13 t.

A y B = coeficientes a determinar

Esta sencilla formulación es correcta en el entorno $I(t)$ entre 40 y 100% que es el rango que interesa, puesto que evidentemente no se van a admitir valores altos de zonas rotas.

El coeficiente B determina la pendiente de la curva, obteniendo amortiguamientos más o menos rápidos.

Este coeficiente tiene para estructuras flexibles un valor de 3.10, para estructuras semirrígidas potentes, 2.10, y para semirrígidas débiles, 4.11, por lo que se ha optado por fijarle a un valor intermedio de 3.

El coeficiente A genera la familia de las 14 curvas mencionadas.

En las Figuras 5 y 6 se muestra el efecto del coeficiente B , así como la familia de 14 curvas utilizadas.

La asignación de una curva simplificada a una zona homogénea, se hará pues, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Población estadística representante del cemento.
- Tipo de estructura.
- Porcentaje de zonas rotas de la inspección visual.
- Corrección de la media del cemento, no de su varianza, con el porcentaje de zonas rotas.

Con la verificación efectuada del modelo de comportamiento, puede calcularse analíticamente para una curva de comportamiento determinada, cuál serían las correspondientes para un recargo de 5 ó 10 cm.

Trasladadas estas curvas a la forma simplificada, se obtendrá una matriz de transferencia, de tal forma que para una zona homogénea representa-

INFLUENCIA DE PEQUEÑAS VARIACIONES EN EL COEFICIENTE B , EN LA FORMULA $I(t) = 100 - A t^B$

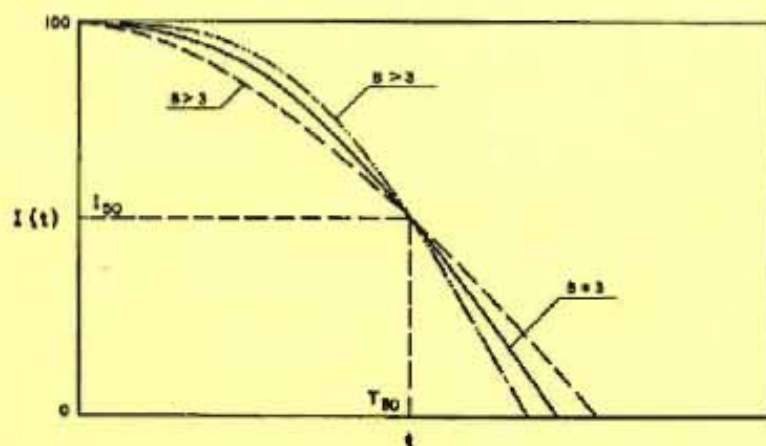


Figura 5

“Se ha efectuado una segunda simplificación, de tal forma que se ha creado una base de 85 zonas cuyas características hacen que cualquiera de las 580 puedan ser representadas por una de las 85 con suficiente exactitud.”

da por su cimiento, estructura y tráfico, dada su correspondiente curva y una operación (1, 2 ó 3) a realizar, se sepa cuál es la curva final tanto en las zonas saneadas como en las tratadas o reforzadas.

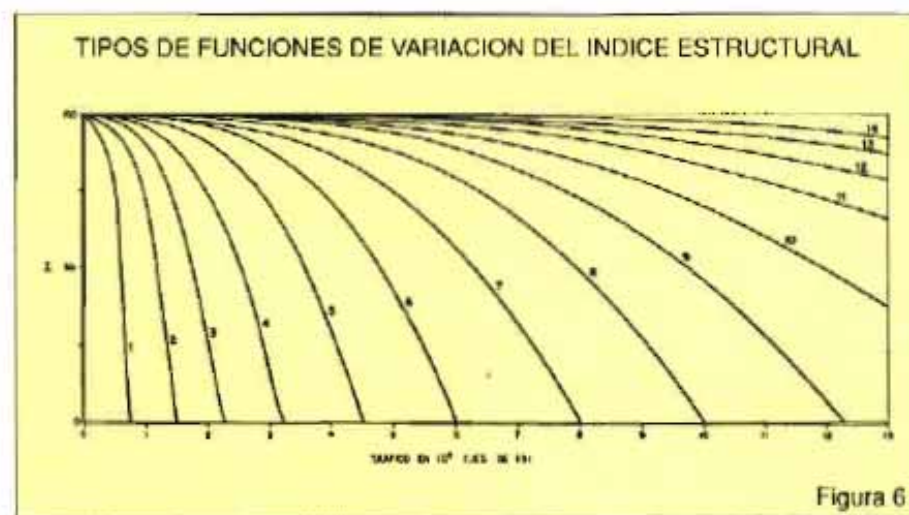


Figura 6

Estas matrices de transferencia están almacenadas en el programa pero pueden ser modificadas cuando convenga.

Una vez establecido el umbral admisible de zonas rotas, el período de estudio y el interés diferencial (bancario menos inflación), el programa GSF calcula, utilizando las curvas simplificadas, todas las posibilidades de actuación en base a las operaciones definidas. De este conjunto se seleccionan bien por pantalla o impresora, las siguientes:

- Primera y segunda solución más económica con primera actuación más barata.
- Primera y segunda solución más económica con una sola actuación.
- Id. con dos actuaciones.
- Id. con tres actuaciones.
- Id. con cuatro actuaciones.

En todas las alternativas se obtie-

ne el valor residual del firme al final del período de tiempo considerado.

Al coste de la operación a lo largo del tiempo se le añade el de la conservación ordinaria o rutinaria como una función del índice de estado estructural.

Integración del GSF a nivel de red

Como se ha indicado, el número de zonas homogéneas es elevado, y aunque su longitud es variable, la media de las obtenidas en ACESA es de 2 000 m, unas 580 zonas.

Para no tener que hacer 580 pases de GSF, se ha efectuado una segunda simplificación, de tal forma que se ha creado una base de 85 zonas cuyas características hacen que cualquiera de las 580 puedan ser representadas por una de las 85 con suficiente exactitud.

Esto hace que se obtengan unidades de actuación más extensas y acordes con la realidad de la conservación de una red.

Una vez procesadas las 85 zonas y seleccionada la alternativa más conveniente de las listadas por el GSF, se asigna a cada zona homogénea una secuencia de operaciones en el tiempo, efectuando a continuación el programa integrador de las mismas y obteniendo los costes anuales por zonas, tramos, autopistas o totales.

En las figuras 7 y 8 puede verse la programación de las distintas operaciones en cada zona homogénea de un tramo, así como la integración total para una autopista.

También se obtienen los costes relativos a cada uno de los distintos tipos de operaciones: saneos con lechada bituminosa y saneos con 5 y 10 cm de refuerzo.

APT. SECC.	PEZ.	PER.	DEGR.	
01	PIRA-ALPAJ	18,136	21,214	3,088 ka
02	PIRA-ALPAJ	21,214	26,214	5,000 ka
03	PIRA-ALPAJ	26,214	33,514	7,300 ka
04	PIRA-ALPAJ	33,514	37,064	3,550 ka
05	PIRA-ALPAJ	37,064	43,000	6,936 ka
06	PIRA-ALPAJ	43,000	43,135	1,135 ka
07	BOJAL-PIRA	43,135	46,514	3,379 ka
08	BOJAL-PIRA	46,514	45,247	0,733 ka
09	BOJAL-PIRA	45,247	46,859	1,612 ka
10	BOJAL-PIRA	46,859	47,332	0,473 ka
11	BOJAL-PIRA	47,332	48,254	1,024 ka
12	BOJAL-PIRA	48,254	41,633	0,277 ka
13	BOJAL-PIRA	41,633	50,714	2,081 ka
14	BOJAL-PIRA	50,714	51,480	0,766 ka
15	BOJAL-PIRA	51,480	51,600	0,120 ka
16	BOJAL-PIRA	51,600	52,500	0,900 ka
17	BOJAL-PIRA	52,500	53,700	1,200 ka
18	BOJAL-PIRA	53,700	54,300	0,600 ka
19	BOJAL-PIRA	54,300	56,000	1,700 ka
20	BOJAL-PIRA	56,000	59,350	3,350 ka
21	BOJAL-PIRA	59,350	64,000	4,650 ka
22	BOJAL-PIRA	64,000	62,214	1,786 ka
23	BOJAL-PIRA	62,214	66,000	3,786 ka
24	BOJAL-PIRA	66,000	67,051	1,051 ka
25	PIRAGA-BOJAL	67,051	72,000	4,949 ka
26	PIRAGA-BOJAL	72,000	72,500	0,500 ka
27	PIRAGA-BOJAL	72,500	75,100	2,600 ka
28	PIRAGA-BOJAL	75,100	77,000	2,000 ka
29	PIRAGA-BOJAL	77,000	78,500	0,700 ka
30	PIRAGA-BOJAL	78,500	79,500	1,000 ka
31	PIRAGA-BOJAL	79,500	81,000	1,500 ka
32	PIRAGA-BOJAL	81,000	82,000	1,000 ka
33	PIRAGA-BOJAL	82,000	83,000	1,000 ka

Consideración del estado de rozamiento de la calzada

El programa GSF obtiene la evolución del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) a lo largo del tiempo, listando los valores para cada año, aunque sin intervenir en los cálculos de las distintas alternativas.

Este listado ayudará a elegir la alternativa adecuada de 1, 2, 3 ó 4 actuaciones en el período de estudio, para preservar determinados valores mínimos del CRT que se puedan establecer. En el caso que dos actuaciones por estructura queden excesivamente alejadas en el tiempo cayendo los valores por debajo de estos mínimos, será necesario intercalar un tratamiento superficial.

Las curvas de amortiguamiento de este índice son función del tipo de formulación empleada en la rodadura así como de la clase de áridos utilizados. La forma de estas curvas es del tipo:

$$CRT(t) = [K - \log(t)] / A$$

siendo:

CRT(t) = Coeficiente CRT para un tráfico t.

[illegible]

t = Ejes de 13 t.

K = Coeficiente indicador del CRT
inicial.

A = Id. de amortiguación con el tráfico.

Consideración del estado de regularidad superficial.

El índice de regularidad superficial utilizado es el IRI medido cada 200 m mediante el SCRIM.

Como se ha indicado, estos valores se almacenan en el Banco de Datos incluyendo en un registro, que corresponde a zonas elegidas, el porcentaje de longitud cuyo $|R|$ es menor que 2: entre 2 y 3, y mayor de 3.

ACTIVACION 2-5	1 CARRILLO	16,763	PRONTAS
ACTIVACION 2-5	1 CARRILLO	20,137	PRONTAS
ACTIVACION 210	1 CARRILLO	25,290	PRONTAS
ACTIVACION 210	1 CARRILLO	32,040	PRONTAS
ACTIVACION 73		11,867	PRONTAS

Figura 7

Anualmente se eligen las zonas de IRI peor regularizando la rasante por el siguiente sistema:

- Una vez elegida la zona a actuar se levanta una nivelación por los bordes derecho e izquierdo de la calzada, tomando puntos para 10 m.
- Mediante un programa desarrollado por ACESA se divide la zona en tramos cortos, calculando para cada uno, el polinomio de mínimos cuadrados que se ajusta a cada uno de los dos bordes de la calzada.
- Tomando como parámetro de confort la derivada segunda del polinomio, representante de la aceleración vertical, se va disminuyendo el grado de éste hasta que el parámetro de confort esté bajo un cierto umbral (usualmente 0.2 cm/m, que supone una aceleración vertical muy aceptable para altas velocidades).
- Una vez efectuada esta operación para cada tramo corto, se desplazan los polinomios verticalmente

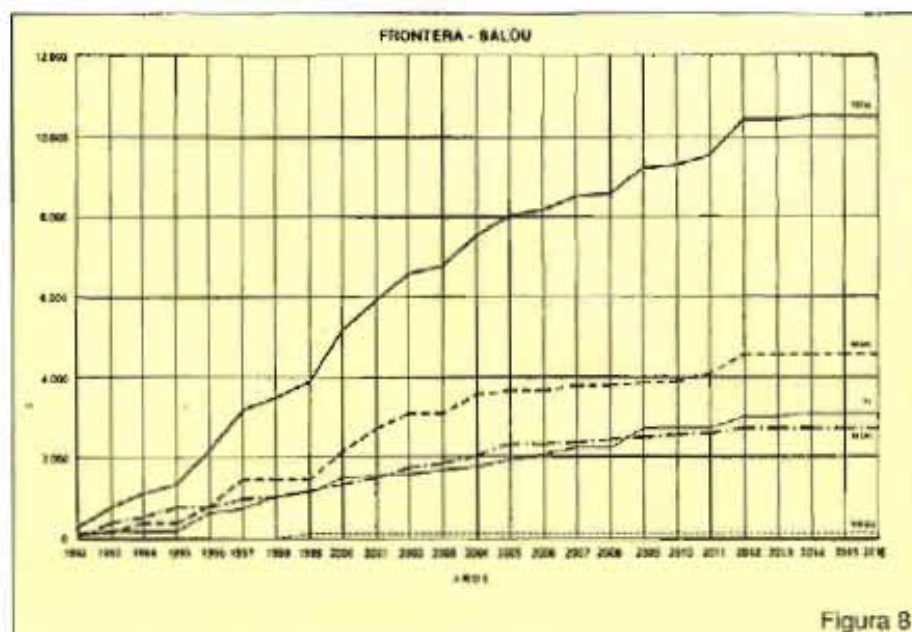


Figura 8

hasta pasar por la máxima cresta de su tramo.

- Posteriormente se unen unos con otros mediante parábolas cúbicas.

- Se unifican al máximo los peraltes para no cambiar su valor cada 10 m en la obra. También se corrigen los peraltes en las inmediaciones del punto de inflexión en planta, haciendo los cambios más rápidos para un mejor desagüe.

Todas estas operaciones se realizan mediante el Programa RF con gran rapidez.

Las regularizaciones de la rasante se realizan en dos capas: la primera a espesor variable, y la última, de acabado, a espesor fijo.

Para realizar estas dos capas con el mínimo espesor, ha sido necesario desarrollar formulaciones finas que por otro lado tengan una buena textura.

La información de la longitud regularizada y el espesor medio, se introducen en el Banco de Datos para su identificación como zona regularizada y como nuevo espesor de la misma a efectos estructurales.



Aquí tenemos un clásico ejemplo de envejecimiento superficial (pérdida de betón, de finos, etc.)

Consideración del estado de envejecimiento de la rodadura

El envejecimiento, al igual que la regularidad superficial, no está considerado en el programa GSF, pero sí que está incluido en la caracterización de las zonas homogéneas, en las

que se ha introducido un parámetro indicador de la susceptibilidad al envejecimiento. Este parámetro se ha sintetizado como función del:

Tipo de mezcla en rodadura.

% de betón.

Tipo de clima.

Hay que tener en cuenta que la penetración de los betunes es de 60-70 en todas las rodaduras salvo en la A-19.

Existen en este momento en nuestra autopista cuatro tipos de mezcla, tres umbrales de betón y cuatro tipos de clima, lo que da lugar a diversas combinaciones a las cuales se les asignan durabilidades de 6, 9 y 12 años.

Estas durabilidades se tienen en cuenta en el GSF igual que se indicó para el rozamiento, es decir, si entre dos actuaciones consecutivas por estructura, hay un tiempo de 6, 9 ó 12 años, dependiendo del tipo de clima y características de la rodadura, será necesario intercalar un tratamiento superficial exclusivamente por este concepto.