

Estimación simplificada del valor de la deflexión en firmes flexibles y semiflexibles

MARTA ALONSO ANCHUELO (*); OSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR ÁLVAREZ (**)

RESUMEN A la hora de gestionar los firmes no siempre se dispone de toda la información. Es, por tanto, necesario analizar la importancia de cada uno de los parámetros y la influencia que puede tener su desconocimiento en la caracterización de los firmes. Se han realizado estudios sobre la repercusión de algunos de ellos en las deflexiones y radios de curvatura. Asimismo, se ha analizado la posibilidad de determinar el módulo de elasticidad de la explanada, que frecuentemente se desconoce, a partir de datos de más fácil adquisición. Se han aprovechado estos estudios para establecer fórmulas sencillas que relacionan los distintos parámetros y su posibilidad de aplicación. Con ello se pueden evitar cálculos más complejos y establecer comparaciones.

SIMPLIFIED ESTIMATION OF DEFLECTION'S VALUE IN FLEXIBLE AND SEMIFLEXIBLE PAVEMENTS

ABSTRACT Comprehensive information about different parameters of pavements, in the Pavement Management field, is not always accessible. For characterizing pavements is necessary to know the relative weight of each parameter and the effect of its lack. This article shows the results of the studies carried out about relationships between different parameters and deflection or curvature radius. The feasibility of estimating the subgrade module that is often unknown, from data easier to be obtained, has also been evaluated. Thanks to these studies, simplified formulae are available, avoiding the use of more complex calculi and facilitating comparisons.

Palabras clave: Gestión de firmes; Deflexión; Radio de curvatura, Módulo de elasticidad de la explanada; Firmes flexibles; Firmes semiflexibles; Cálculo analítico.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que se plantean al abordar la conservación de un firme es la falta de datos sobre las características de los materiales que componen las diferentes capas. Para intentar paliar este problema, en la medida de lo posible, se ha llevado a cabo un estudio en el que se han realizado una serie de cálculos sobre un número considerable de secciones de firmes flexibles y semiflexibles, y se ha analizado la importancia relativa de cada una de estas características sobre su comportamiento. Como resultado, se han obtenido unas expresiones basadas en correlaciones bilogarítmicas que permiten estimar, con un cierto grado de aproximación, la respuesta estructural de los firmes, aun desconociendo algunas de sus características iniciales, y siempre teniendo en cuenta el error que se comete.

Además, aunque el cálculo de las deflexiones, tanto lo que se refiere a su valor máximo, como al radio del cuenco de la deformada, puede hacerse por medio de programas que

actualmente se encuentran en el mercado, en ocasiones puede ser útil determinar estos valores sin ayuda de un ordenador por medio de una sencilla fórmula, suficientemente concordante con los obtenidos de cálculos más complejos, aunque sólo sea de forma aproximada.

Es necesario indicar que se trata de un estudio teórico y, como tal, se debe considerar que los resultados tienen un carácter orientativo. No obstante, permitirá establecer comparaciones entre los distintos tipos de firme analizados.

2. METODOLOGÍA

Este estudio se ha limitado a los firmes flexibles y semiflexibles; no obstante, la metodología podría extenderse a los firmes rígidos y semirrígidos teniendo en cuenta las características que los diferencian.

Para este análisis, se han realizado cálculos de una gran cantidad de secciones de firmes utilizando el programa llamado BDALIZ que ha sido desarrollado en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX a partir del programa ALIZE. Este programa genera los cálculos de deflexiones, radio de curvatura y tensiones y deformaciones bajo una carga determinada.

Para obtener estos resultados se deben introducir los espesores, módulos de elasticidad y módulos de Poisson de cada capa; además, es necesario indicar si las capas están

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (Ministerio de Fomento).

pegadas o despegadas. El programa permite realizar cálculos de series de firmes a partir de los datos de los valores extremos de un intervalo de espesores y módulos y el incremento de dicho intervalo con el que se desean que se calculen las estructuras del firme, siempre que este incremento sea constante. Así, si se quieren calcular firmes con un espesor de material granular de 10, 20, 30, 40 y 50 cm, será suficiente con introducir 10 cm como espesor inicial de la capa de material granular, 50 cm como espesor final; y un incremento de 10 en 10.

Con este método se han calculado gran cantidad de secciones de firmes a partir de las hipótesis que se indican a continuación. Con los resultados se han obtenido expresiones simplificadas, basadas en correlaciones bilogarítmicas, que permiten estudiar los valores de deflexiones y radio de forma sencilla.

3. DATOS E HIPÓTESIS PARA EL CÁLCULO

Dado que los tipos y características de los firmes reales son muy variadas, se ha tratado de considerar en este estudio los datos simplificados e hipótesis que los representen lo mejor posible. En cuanto a las hipótesis de carga y módulos de materiales, se han empleado las más habituales en estudios de este tipo y que, por la experiencia, se consideran que son las más cercanas a la realidad. En lo referente a los datos de espesores de las capas, se han considerado los que se ajustan tanto a las instrucciones de firmes nuevos, como a las que se tiene conocimiento que se han utilizado en la red.

Todas las estructuras analizadas corresponden a firmes flexibles y semiflexibles. Los firmes flexibles están compuestos por una capa de mezcla bituminosa de espesor inferior a 15 cm, sobre otra de material granular situada por encima de la explanada. Los firmes semiflexibles tienen idéntica estructura que los flexibles, pero el espesor de mezcla bituminosa es superior a 15 cm.

Los módulos de la mezcla bituminosa se han considerado fijos en todos los casos; los de las capas granulares, dependientes de los de la explanada. Los módulos de la explanada pueden tomar valores comprendidos entre los extremos de las especificaciones; pero también inferiores, como se ha constatado que a veces ocurre en la realidad.

En cuanto a los espesores de los materiales, los de la mezcla bituminosa pueden variar de 0 a 50 cm. Las del material granular, de 20 a 50 cm.

Con todo ello se ha tratado de cubrir un abanico suficientemente amplio de casos, con hipótesis contrastadas por la experiencia. De esta forma se puede proceder a un análisis de las relaciones entre los parámetros, teniendo como base una población representativa que proporcione un grado de confianza razonable.

HIPÓTESIS DE CARGA

La hipótesis realizada es que la carga equivale a una de 6,5 t repartida uniformemente sobre una superficie de acción formada por dos círculos de carga con las siguientes características:

- Carga en cada círculo de 8 kp/cm².
- Radio de cada círculo de carga de 11,37 cm.
- Distancia entre centros de los dos círculos de 37,5 cm.

Se ha tomado una carga de 6,5 t, porque es la mitad de la considerada como eje patrón (13 t) en los estudios de dimensionamiento de firmes, y ha sido durante mucho tiempo la carga máxima admisible por eje. Se ha considerado que la

carga se reparte en dos ruedas que equivalen a los círculos mencionados.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS FIRMES

- Espesores de mezcla bituminosa de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 cm.
- Espesores de material granular de 20, 30, 40 y 50 cm.
- Espesor de la explanada indefinido.

HIPÓTESIS ELÁSTICAS DE LOS MATERIALES DEL FIRME

- El módulo de elasticidad de la mezcla bituminosa se considera de 60 000 kp/cm².
- El módulo de elasticidad del material granular se ha calculado aplicando la fórmula de la Shell que tiene en cuenta la explanada y el espesor de capa de material granular. Se corresponde con la expresión:

$$E_{S_{gr}}(\text{kp/cm}^2) = E_{L_{gr}}(\text{kp/cm}^2) \times 0,26 \times h^{0,48}(\text{cm})$$

Siendo:

$E_{S_{gr}}$ = Módulo de elasticidad del material granular (en kp/cm²).

$E_{L_{gr}}$ = Módulo de elasticidad de la explanada (en kp/cm²).

h = Espesor de la capa de material granular (en cm).

- Los módulos de elasticidad de la explanada considerados son: 200, 300, 500, 1 000, 1 500 y 2 000 kp/cm².

Se ha realizado la hipótesis de que los módulos de elasticidad de los materiales permanecen constantes a lo largo de la vida del firme.

Los módulos de Poisson considerados son:

- | | |
|--------------------------|------|
| • Para mezcla bituminosa | 0,33 |
| • Para material granular | 0,35 |
| • Para explanada | 0,35 |

CONDICIONES DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS

En las secciones analizadas, se han supuesto que todas las capas están pegadas.

Con todo esto, las combinaciones realizadas son las que se indican en la tabla 1; lo que hace un total de 264 secciones de firmes calculadas con el programa BDALIZ.

Una vez introducidas todas las hipótesis de partida, se hizo funcionar el programa BDALIZ. Los resultados obtenidos de dicho programa son las deflexiones, sus radios y las tensiones y deformaciones tanto horizontales como verticales que se producen en la fibra inferior y superior de cada capa del firme bajo la acción de la carga de 6,5 t.

4. EXPRESIONES SIMPLIFICADAS

Como ya se ha indicado, el objetivo perseguido es el de obtener unas fórmulas simplificadas para estimar los valores de las deflexiones y radios que aparecen al aplicar la carga correspondiente al eje tipo de 13 t, a partir de algunas características geométricas y elásticas de los firmes.

Para conseguirlo, se han calculado correlaciones bilogarítmicas a partir de los resultados obtenidos con el programa. Con ellas, se han obtenido una serie de fórmulas que permiten determinar los valores de la deflexión y del radio, conociendo los espesores de mezcla bituminosa y material granular y el módulo de elasticidad de la explanada.

ESPESOR DE MEZCLA BITUMINOSA	ESPESOR DE MEZCLA BITUMINOSA	ESPESOR DE LA EXPLANADA	ESPESOR DE MATERIAL GRANULAR	ESPESOR DE MATERIAL GRANULAR
0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	60.000	200	20 30 40 50	500 500 600 700
0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	60.000	300	20 30 40 50	700 800 900 1.000
0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	60.000	500	20 30 40 50	1.100 1.300 1.500 1.700
0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	60.000	1.000	20 30 40 50	2.200 2.600 3.000 3.400
0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	60.000	1.500	20 30 40 50	3.400 4.000 4.600 5.000
0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50	60.000	2.000	20 30 40 50	4.500 5.300 6.100 6.800

TABLA 1.

A la hora de conservar o rehabilitar un firme no es frecuente disponer de información precisa acerca del módulo de elasticidad de la explanada. Por ello, se ha considerado de utilidad determinar también fórmulas simplificadas, que permitan obtener un valor aproximado de dicho módulo, a partir de la deflexión, el radio y los espesores de mezcla bituminosa y material granular.

DEFLEXIONES

Para estudiar como depende la deflexión de otros factores se han considerado las 264 secciones distintas y se ha analizado, en primer lugar, la relación de la deflexión con los espesores de las capas de mezcla bituminosa y material granular y con el módulo de elasticidad de la explanada. Posteriormente, se ha estudiado el resultado de ir prescindiendo de parámetros para determinar su influencia relativa.

En la tabla 2 figuran los resultados obtenidos de las diferentes combinaciones, considerando a la deflexión como tér-

mino dependiente en regresiones lineales múltiples de los logaritmos decimales de los parámetros.

Se observa que las dos primeras correlaciones presentan un grado de aproximación muy alto, aunque de la segunda se ha eliminado el espesor de material granular, lo que parece indicar que esta característica del firme no influye mucho en el valor de las deflexiones; quizá se deba a que el módulo de elasticidad del material granular se ha calculado teniendo en cuenta el módulo de la explanada y el espesor de la capa de material granular. La menor importancia de este factor, parece corroborarse si se analizan los exponentes de la primera de las ecuaciones. En ella se observa que el exponente correspondiente al espesor de material granular es bastante menor que el de espesor de mezcla bituminosa y que el de módulo de elasticidad de la explanada.

En la siguiente ecuación se ha obtenido la relación existente entre la deflexión y el módulo de elasticidad de la explanada. Se observa que el grado de correlación ha dismi-

RELACIÓN	PARÁMETROS	R ²	ECUACIÓN
f (mb, mg, me)	log (df), log (mb), log (mg), log (me)	0,985	$Df = mb^{-0,04} mg^{-2,19} me^{-0,76} 10^{6,73}$
f (mb, me)	log (df), log (mb), log (me)	0,972	$Df = mb^{-0,53} me^{-0,02} 10^{4,45}$
f (me)	log (df), log (me)	0,691	$Df = me^{-0,76} 10^{3,74}$
f (mb, mg)	log (df), log (mb), log (mg)	0,294	$Df = mb^{-0,04} mg^{-2,19} 10^{7,73}$
f (mb)	log (df), log (mb)	0,287	$Df = mb^{-0,04} 10^{8,49}$

Siendo:
 mb = Espesor de la capa de mezcla bituminosa en cm.
 mg = Espesor de la capa de material granular en cm.
 me = Módulo de elasticidad de la explanada en kg/cm².
 df = Valor de la deflexión en centímetros de mm.

TABLA 2.

nuido apreciablemente con respecto a las dos primeras, que contenían, además, el espesor de mezcla bituminosa.

En las dos últimas ecuaciones, ha disminuido notablemente el valor de R^2 . La relación entre la deflexión y la mezcla bituminosa es mucho peor que la que existe entre deflexión y módulo de elasticidad de la explanada. De cualquier modo, la relación entre la explanada y la deflexión es considerablemente peor que la existente entre la deflexión, el espesor de mezcla bituminosa y módulo de elasticidad de la explanada.

Conviene destacar que los exponentes que afectan al espesor de mezcla bituminosa y al módulo de elasticidad de la explanada son muy similares en todas las ecuaciones obtenidas: Lo que confirma la importancia de estos dos factores.

Como consecuencia, se puede afirmar que para estimar adecuadamente la deflexión en un firme es necesario disponer de datos tanto del módulo de elasticidad de la explanada como del espesor de la mezcla bituminosa.

RADIO DE CURVATURA

Al igual que con la deflexión, se han obtenido expresiones que relacionan el radio de curvatura con los espesores de la mezcla bituminosa y del material granular y el módulo de elasticidad de la explanada. Para ello se han considerado las mismas secciones que en el caso anterior. En primer lugar, se ha analizado la dependencia del radio de los espesores de las capas de mezcla bituminosa y material granular y del módulo de elasticidad de la explanada. Posteriormente, se ha estudiado el resultado de ir prescindiendo de parámetros, lo que ha permitido determinar su influencia relativa.

Para la realización práctica del análisis se han tomado logaritmos de los parámetros, y se han establecido regresiones lineales múltiples entre ellos. Como término dependiente se considerado al radio. En la tabla 3 figuran los resultados obtenidos de las diferentes combinaciones.

En la primera de las expresiones, se incluyen los espesores de la mezcla bituminosa y del material granular y el módulo de elasticidad de la explanada. En la segunda se ha eliminado el módulo de elasticidad de la explanada; y se observa, por un lado, que la correlación sigue teniendo un buen grado de aproximación; y, por otro, que únicamente varía el exponente del término independiente, mientras que los demás son prácticamente iguales. Esto parece indicar que el módulo de elasticidad de la explanada no influye demasiado en el radio de curvatura.

En la tercera expresión, se ha eliminado el espesor de material granular y, al igual que antes, el exponente del espesor de mezcla bituminosa sigue siendo prácticamente el mismo. El grado de aproximación sigue siendo elevado, lo que parece indicar que el material granular no influye mucho.

Finalmente, se observa que no se aprecia correlación entre el módulo de la explanada y el valor del radio.

De todo esto se concluye que la influencia del espesor de mezcla bituminosa es determinante en el valor del radio de curvatura de la deflexión.

MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA EXPLANADA

Por otra parte, se ha realizado un estudio para determinar el módulo de elasticidad de la explanada, ya que es una característica de los firmes existentes de los que frecuentemente no se dispone de información, especialmente de los muy antiguos. Sin embargo, es bastante más asequible obtener deflexiones y radios procedentes de campañas de auscultación, así como espesores de las capas de los firmes procedentes del inventario.

Se ha seguido el mismo procedimiento que en los casos anteriores, aunque el número de parámetros considerados es mayor. Además, se han mezclado características intrínsecas de los firmes con datos procedentes de la auscultación. Con esto se ha pretendido tener en cuenta todos los casos posibles y la información disponible. Así, por ejemplo, el módulo de la explanada no depende del espesor de la mezcla bituminosa, pero la deflexión, el radio y el espesor sí están relacionados. Por tanto, su consideración nos permite tener en cuenta la parte de la deflexión o radio que depende de la mezcla bituminosa.

El número de secciones es el mismo que en los casos anteriores. Se han estudiado las relaciones entre el módulo de elasticidad de la explanada y la deflexión, radio y espesores de las capas de mezcla bituminosa y material granular. Posteriormente, se ha analizado el resultado de ir prescindiendo de algunos parámetros.

Para la realización práctica del estudio, como en el caso anterior, se han tomado logaritmos de los parámetros, y se han establecido regresiones lineales múltiples entre ellos. Como término dependiente se considerado el módulo de la explanada. En la tabla 4 figuran los resultados obtenidos de las diferentes combinaciones.

Evidentemente, el módulo de elasticidad de la explanada, es un valor intrínseco que no depende de los parámetros aquí considerados. Lo que se pretende es estudiar la posibilidad de estimar con los datos disponibles, el módulo real de la explanada. El mejor resultado se obtiene cuando se tienen en cuenta todos los parámetros. De todos ellos, el que más peso tiene es la deflexión. El resultado obtenido con la deflexión y el radio es satisfactorio. Sin embargo, no siempre es fácil disponer de medidas fiables del radio de curvatura. Este problema podría ser subsanado con el conocimiento de la deflexión y los espesores de los materiales, con los que además se tiene un coeficiente de correlación mejor. En este

RELACIÓN	PARAMETROS	R ²	ECUACIÓN
f (mb, mg, me)	log (rd), log (mb), log (mg), log (me)	0,959	$rd = mb^{1,26} mg^{0,13} me^{2,71} 10^{0,11}$
f (mb, mg)	log (rd), log (mb), log (mg)	0,919	$rd = mb^{1,34} mg^{0,13} 10^{0,72}$
f (mb)	log (rd), log (mb)	0,917	$rd = mb^{1,26} 10^{0,72}$
f (me)	log (rd), log (me)	0,040	$rd = me^{2,71} 10^{0,14}$

Siendo
 mb = Espesor de la capa de mezcla bituminosa en cm.
 mg = Espesor de la capa de material granular en cm.
 me = Módulo de elasticidad de la explanada en kg / cm².
 rd = Radio de curvatura en m.

TABLA 3.

RELACIÓN	PARÁMETROS	R ²	ECUACIÓN
f (d, rd, mb, mg)	log (me), log (d), log (rd), log (mb), log (mg)	0,985	$me = d^{1,34} rd^{-0,19} mb^{-0,59} mg^{-0,22} 10^{5,73}$
f (d, mb, mg)	log (me), log (d), log (mb), log (mg)	0,979	$me = d^{1,29} mb^{-0,62} mg^{-0,24} 10^{6,40}$
f (d, mb)	log (me), log (d), log (mb)	0,969	$me = d^{1,27} mb^{-0,61} 10^{6,08}$
f (d, rd)	log (me), log (d), log (rd)	0,964	$me = d^{1,44} rd^{-0,64} 10^{7,00}$
f (d)	log (me), log (d)	0,691	$me = d^{0,97} 10^{2,31}$
f (rd, mb, mg)	log (me), log (rd), log (mb), log (mg)	0,495	$me = rd^{1,29} mb^{-0,59} mg^{-0,29} 10^{7,19}$
f (rd, mb)	log (me), log (rd), log (mb)	0,482	$me = rd^{1,28} mb^{-0,59} 10^{6,81}$
f (rd)	log (me), log (rd)	0,040	$me = rd^{0,18} 10^{2,31}$

Siendo:

- mb = Espesor de la capa de mezcla bituminosa en cm.
- mg = Espesor de la capa de material granular en cm.
- me = Módulo de elasticidad de la explanada en kp/cm^2 .
- d = Valor de la deflexión en centésimas de mm.
- rd = Radio de curvatura en m.

TABLA 4.

caso, el prescindir del espesor de material granular no supone una merma considerable de la correlación.

5. ANÁLISIS GRÁFICO

Las conclusiones obtenidas en el apartado anterior a partir de las expresiones calculadas, pueden ilustrarse por medio de gráficos que permiten apreciar, de forma más intuitiva, la influencia relativa de las características geométricas y elásticas de los firmes sobre los valores de deflexión y radio.

A continuación (figuras 1 a 6) se representan los valores de deflexiones y radios obtenidos del programa BDALIZ correspondientes a firmes de características extremas. De esta forma se obtiene el huso dentro del que pueden variar los parámetros, dentro del ámbito del estudio. En ellos se puede comparar la importancia relativa que tienen los espesores de la mezcla bituminosa y del material granular y el módulo

de elasticidad de la explanada sobre las deflexiones y el radio de curvatura.

Se observa que, como ya se ha indicado, las dos características que tienen más importancia sobre la deflexión son el espesor de mezcla bituminosa y el módulo de elasticidad de la explanada.

De nuevo se aprecia que el espesor de material granular, aunque tiene cierta influencia, ésta es pequeña en el valor de la deflexión, sobre todo en firmes de gran capacidad de soporte.

También se ha analizado la influencia de las características geométricas y elásticas de los firmes en el radio de curvatura partiendo de los datos obtenidos con el programa BDALIZ correspondientes a los firmes con valores extremos de espesores de mezcla bituminosa y de material granular y módulo de elasticidad de la explanada.

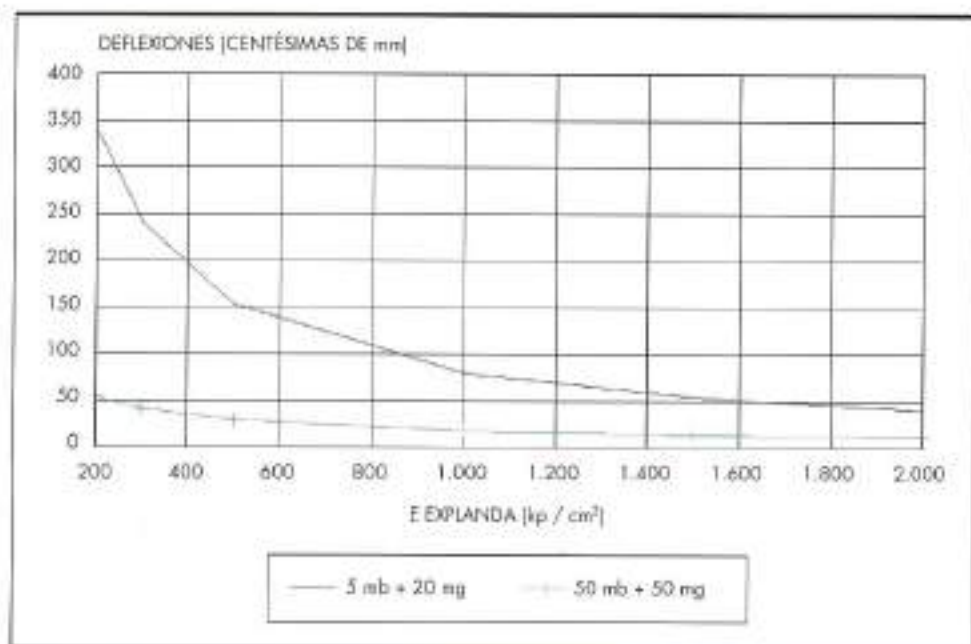


FIGURA 1. Influencia del módulo de elasticidad de la explanada en las deflexiones.

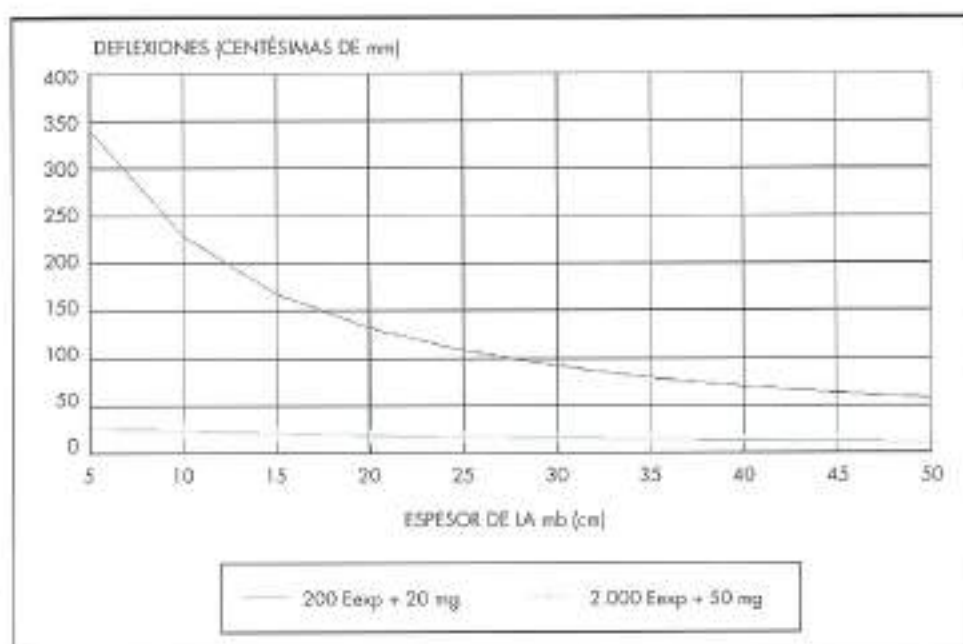


FIGURA 2. Influencia del espesor de la mezcla bituminosa en las deflexiones.

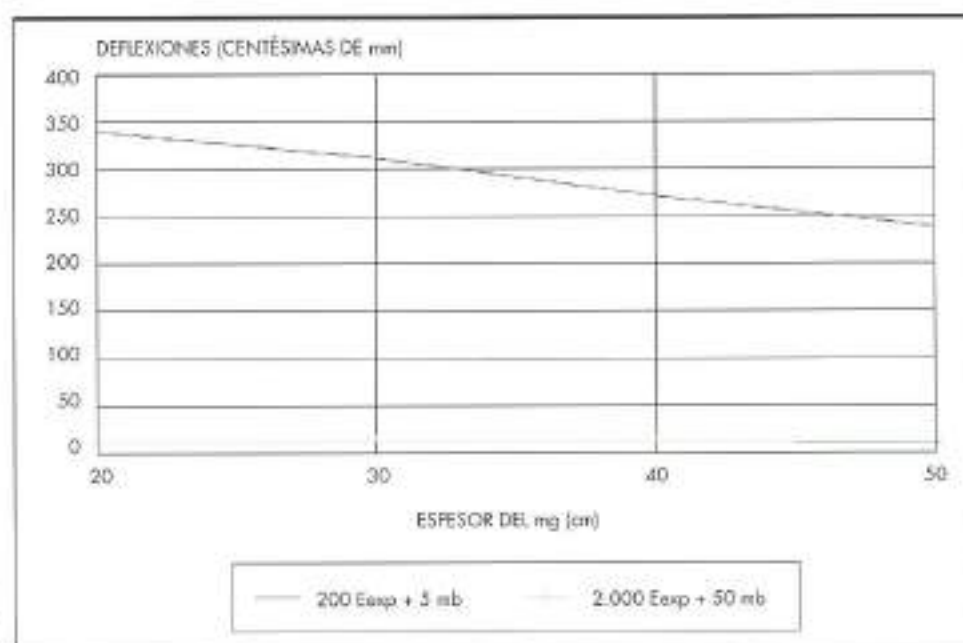


FIGURA 3. Influencia del espesor del material granular en las deflexiones.

Al analizar los gráficos se observa algo que ya se había indicado al estudiar las correlaciones obtenidas entre las características de los firmes y el radio de curvatura y es que, el parámetro más influyente en el radio de curvatura es, con diferencia, el espesor de mezcla bituminosa, ya que, para valores pequeños de dicho espesor, el radio también es mucho menor que los que se obtienen para espesores grandes.

El módulo de elasticidad de la explanada es la siguiente característica en orden de importancia. Para valores bajos del módulo de explanada se observa una variación mayor que para valores altos, convirtiéndose las funciones en rectas prácticamente horizontales. De cualquier forma, es un

factor que influye, sobre todo, en el caso de firmes con espesor de mezcla bituminosa pequeña.

En cuanto al espesor de material granular, su importancia también es pequeña, como ya se había indicado.

6. CONCLUSIONES

El principal objetivo de este trabajo ha sido estudiar la posibilidad de estimar ciertas características de los firmes flexibles y semiflexibles a partir de la información disponible. Para ello, se han calculado las deflexiones y radios de 264 secciones de firmes, bajo la carga tipo de 13 t, utilizando un

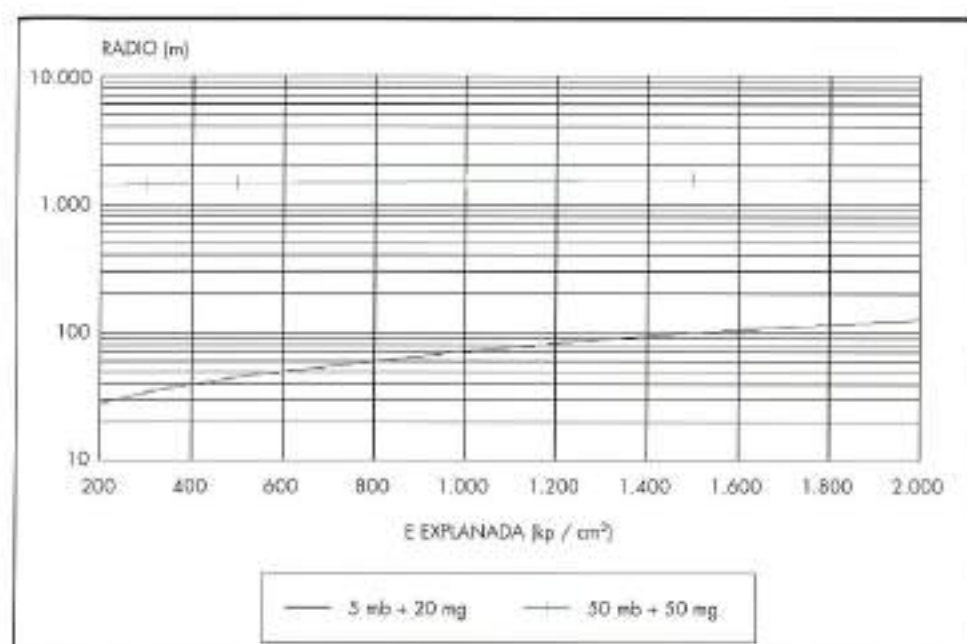


FIGURA 4. Importancia del módulo de elasticidad de la explanada en el radio.

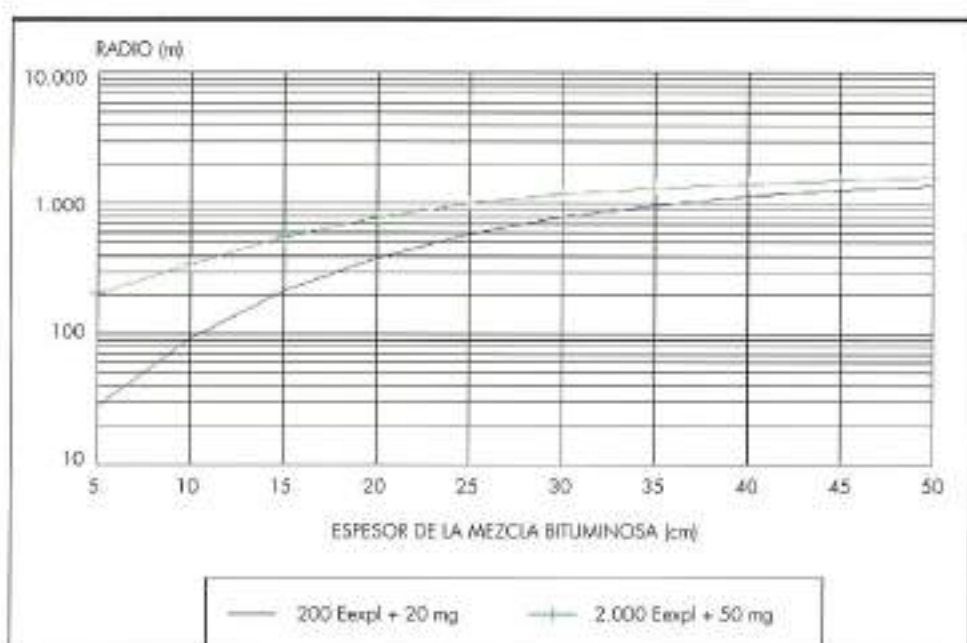


FIGURA 5. Importancia del espesor de la mezcla bituminosa en el radio.

programa de ordenador. A partir de los resultados, se han estudiado las regresiones bilogarítmicas, obteniéndose expresiones simplificadas que permiten estimar los valores de las deflexiones y radios de curvatura a partir de fórmulas sencillas, sin necesidad de utilizar el ordenador y conociendo únicamente los espesores de mezcla bituminosa y material granular y el módulo de elasticidad de la explanada, o solo algunos de estos parámetros.

También se han obtenido expresiones que permiten asignar de forma aproximada, un módulo de elasticidad a la explanada. Hay que tener en cuenta que este valor es frecuentemente desconocido en el campo de la gestión de firmes.

Dado que se puede disponer de la deflexión y del radio de curvatura por medio de equipos de auscultación, junto con los datos de espesor de mezcla bituminosa y material granular procedentes del inventario, se ha estudiado la posibilidad de determinar el módulo de la explanada con toda o parte de esta información.

Las regresiones estudiadas han permitido, por una parte, determinar la importancia relativa de los distintos parámetros en la respuesta de los firmes; por otra, disponer de una herramienta sencilla para determinar deflexiones, radios y módulo de elasticidad con un grado de exactitud conocido, sin necesidad de recurrir a cálculos laboriosos. Dependiendo

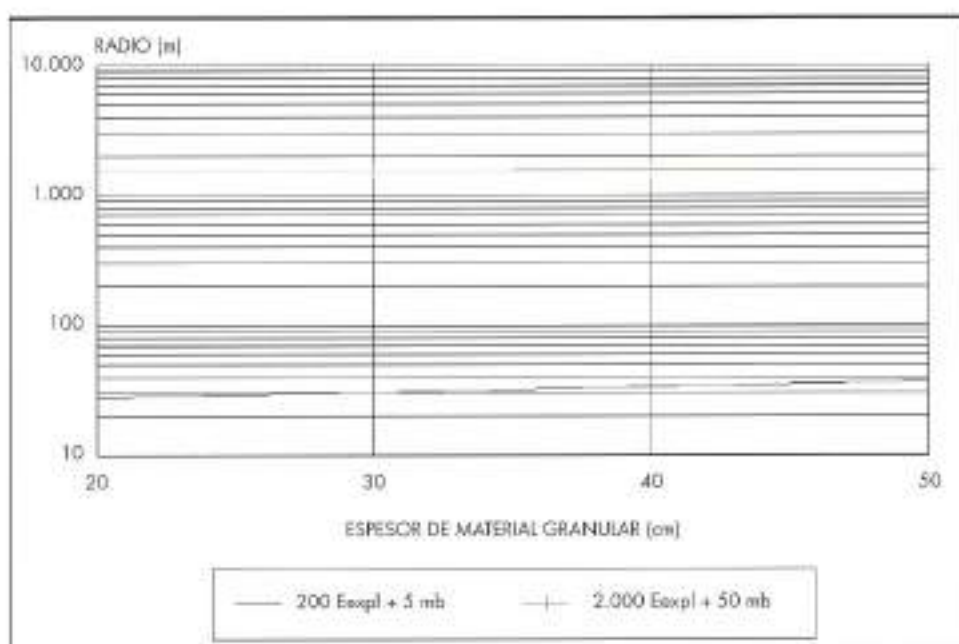


FIGURA 6. Importancia del espesor del material granular en el radio.

de los parámetros utilizados se puede llegar a obtener aproximaciones considerablemente buenas si se comparan con los resultados de cálculos más complejos.

Se debe tener en cuenta que se ha partido de ciertas hipótesis que determinan el campo de aplicación de este estudio. No obstante, la metodología sería válida para cualquier otra hipótesis o tipo de firme haciendo las modificaciones precisas.

Tanto el estudio realizado, como las posibles variaciones que se pudieran introducir podrían ser de utilidad en lo que se refiere al análisis del comportamiento de los firmes en el presente y en el futuro para su conservación.

Por último, cabe señalar que el método utilizado podría parecer poco ortodoxo, dado que se han realizado análisis

estadísticos sobre datos obtenidos a partir de cálculos analíticos, en vez de hacerlo, como es habitual, sobre muestras tomadas de la realidad. Sin embargo, la utilidad de las expresiones, tanto a la hora de analizar la importancia relativa de cada parámetro, como a la de utilizarlas para el cálculo simplificado, justifica sobradamente el método seguido.

RECONOCIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a D. Francisco Sinis sus ideas que han inspirado este trabajo. A D. Alfonso Téllez su trabajo en la realización del programa de ordenador utilizado. A D. Francisco Achútegui sus sugerencias y apoyo.



El contrato asciende a 1.200 millones de pesetas

Ferrovial-Agromán Internacional construirá el Parque San Giuliano en Venecia

Madrid, 22 de diciembre de 1997

Ferrovial-Agromán Internacional será la empresa encargada de realizar la construcción del Parque San Giuliano de Venecia, en Italia. El contrato, con un importe de 1.200 millones de pesetas, forma parte de un proyecto de más de 10.000 millones de pesetas, diseñado por el arquitecto italo-americano Antonio Di Mambro, que permitirá regenerar la zona de acceso a la ciudad italiana.

La obra consiste en adecuar y urbanizar 60.000 m² de terreno localizado entre el aeropuerto y el puente que da entrada a Venecia, el emblemático Ponte della Libertà, y se ejecutará en veinticuatro meses. Para ello, se limpiará la zona, se rellenará con materiales y, posteriormente, se realizarán las obras de urbanización que consistirán en la ejecución de viales, aceras, jardines, pistas de deporte, para la práctica del atletismo, bicicleta, etc., instalaciones eléctricas y de saneamiento y la construcción de un gran lago.

Ferrovial-Agromán Internacional realiza proyectos en Italia por valor de 10.000 millones de pesetas, entre ellos, la construcción del Hospital de Asti y la rehabilitación del Hospital San Giovanni de Roma. Con esta última adjudicación, **Ferrovial-Agromán Internacional** eleva a 100.000 millones de pesetas su cartera de obra —sólo en el exterior— y fija en más de 30.000 millones su cifra de facturación para este año.



CIRUGÍA REPARADORA «DIR»

Consulte a su especialista en tratamientos para el hormigón.

Cada vez que necesite intervenir en cualquier **patología del hormigón** diríjase a un especialista. Con el estado de salud de elementos y estructuras de hormigón no se juega. Las empresas asociadas al **CLUB DIR** de **Bettor MBT** son auténticos expertos en el tratamiento profesional del hormigón; **reparación y protección, impermeabilización, recubrimientos técnicos y decorativos, sellado de juntas, etc.**

Tras un estudio de su caso y un diagnóstico preciso, las empresas aplicadoras de productos químicos para la construcción del **CLUB DIR**, le plantean la solución más eficaz y se ponen manos a la obra sin interferir en la marcha habitual de su negocio.

Finalizada la operación, los productos **Bettor MBT** distinguidos por su calidad y la seguridad de una aplicación adecuada, le garantizan una recuperación duradera. Los profesionales del **CLUB DIR** operan en todo el territorio nacional. **Prevea con tiempo y póngase en manos de un especialista.**



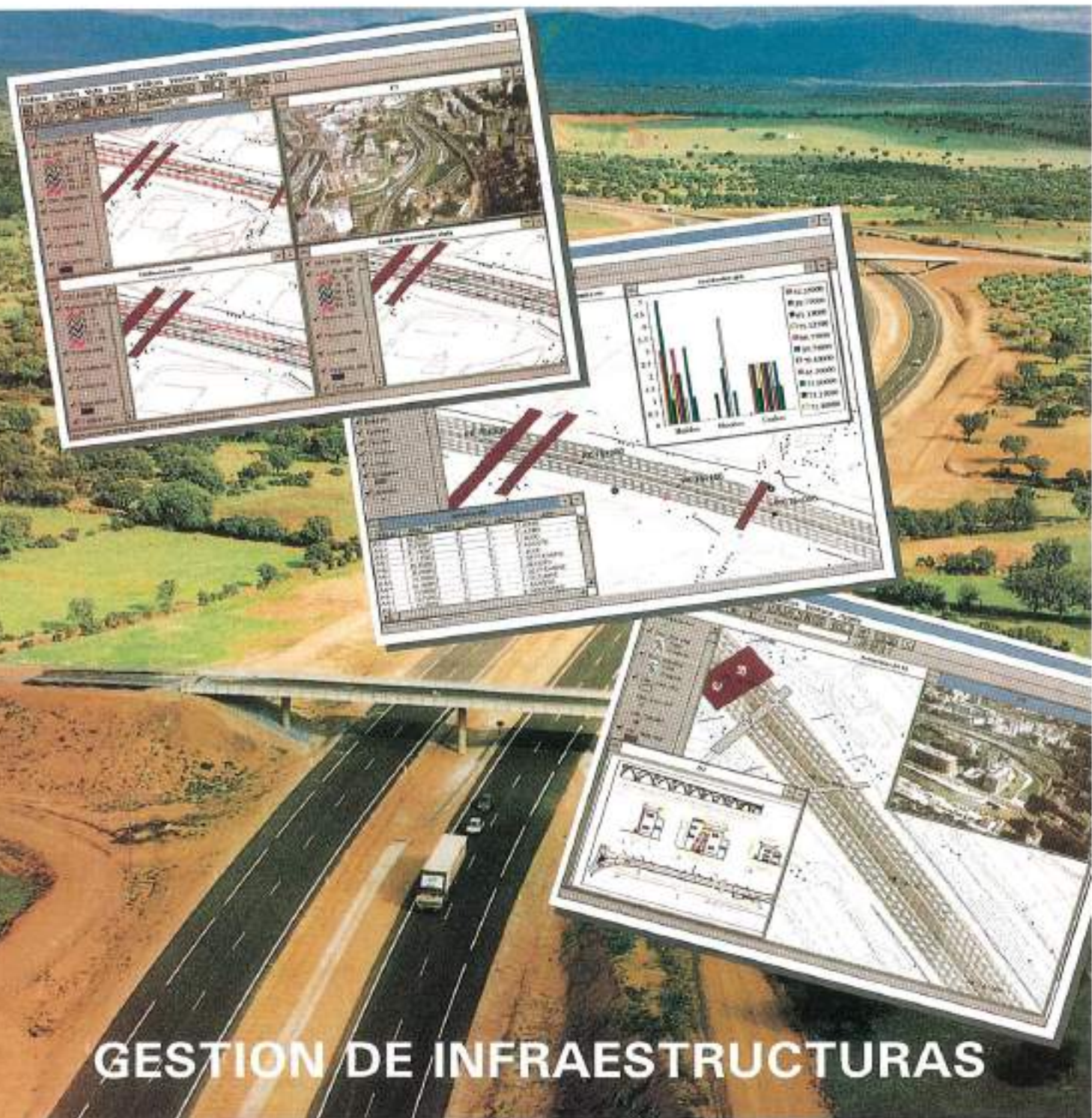
Bettor MBT, S.A. Basters 13-15, 08184 PALAU DE PLEGAMANS
 Tel. (93) 862 00 00 - Fax (93) 862 00 20
 Internet: WWW.ISIDLES/BETTOR, MBT
 E-mail: Bettor MBT @ isidles

Solicito información sobre el producto
 Solicito información sobre el servicio
 Solicito información sobre el precio
 Solicito información sobre el distribuidor
 Solicito información sobre el representante

Nombre: _____
 Apellidos: _____
 Calle: _____
 CP: _____
 Localidad: _____



GEOCISA
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.



GESTION DE INFRAESTRUCTURAS

RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE DATOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS, AUTOPISTAS Y AUTOVIAS.

Los LLanos de Jerez, 10 y 12 28820 Coslada (Madrid) Tel.: 660 30 00 Fax: 671 64 60