

Tramificación automática de las deflexiones medidas sobre firmes de carreteras

FERNANDO VARELA SOTO (*)

RESUMEN Si buscamos en un diccionario el término "homogéneo" obtenemos como respuesta, en una de sus acepciones: "Formado por elementos de igual naturaleza". El presente artículo detalla un método de cálculo empleado para tramificar medidas de deflexiones, que corresponden generalmente a los datos tomados por un equipo de auscultación automático y su división en tramos homogéneos, empleando un algoritmo de cálculo fácilmente programable en ordenador, así como la justificación del método empleado.

AUTOMATIC DIVISION INTO SECTIONS OF THE DEFLECTIONS MEASURED ON ROAD SURFACES

ABSTRACT *The term homogeneous is normally defined in dictionaries as "formed by parts that are all of the same type". This article deals in a detailed way with the method of calculating used to divide into sections the measurement of deflections, which generally correspond to the data obtained by an automatic auscultation equipment and their division into homogeneous sections, using a calculation algorithm which can be programmed easily, as well as the justification of the method employed.*

Palabras clave: Deflexión; Tramificación; Auscultación de firmes; Refuerzo.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista técnico, y también económico, resulta interesante estudiar el estado de las carreteras dividiendo las mismas en tramos homogéneos. Dentro del área del mantenimiento de las carreteras, sin duda, una de las partidas económicas más importantes es la de rehabilitación de sus firmes. El ingeniero responsable acude a la Norma 6.3. I.C., "Refuerzo de Firmes" para considerar la posibilidad, y analizar la forma más adecuada de reforzar un firme.

Actualmente la Norma se encuentra en fase de revisión y como complemento a la misma el Ministerio de Fomento ha publicado la Orden Circular 323/97 T "Recomendaciones para el proyecto de las actuaciones de rehabilitación de firmes con pavimento bituminoso".

Para actuar sobre el firme de una carretera se deben tener en cuenta fundamentalmente tres posibles cuestiones:

- a) El agotamiento estructural.
- b) El previsible crecimiento del tráfico.
- c) Los excesivos gastos de conservación.

En la actualidad existen varios métodos para establecer las actuaciones de conservación del firme de una carretera.

Se pueden citar como referentes tanto los programas expertos, que ofrecen soluciones apoyadas en las medidas de distintos parámetros del firme (IRI, CRT, Deflexiones, etc.), como la inspección visual. En ambos casos resulta de gran apoyo, y desde luego en el caso de un programa experto es del todo necesario, la realización de medidas sistemáticas tomadas con equipos de auscultación.

La persona o equipo responsable de la explotación y conservación de una carretera o una red estudia su estado empleando la metodología adecuada en cada caso. Si se llega a la conclusión de que es necesario reforzar el firme, se debe realizar el estudio para adecuar su capacidad de soporte a las nuevas condiciones de la carretera.

El estudio de un refuerzo se apoya en medidas con equipos de auscultación que

El estudio de un refuerzo se apoya en medidas con equipos de auscultación que informan del comportamiento estructural del firme. Dichos equipos empleados son deflectómetros automáticos. Las deflexiones medidas pueden ser relacionadas con las correspondientes al ensayo normalizado, que es el de medida con viga Benkelman según el método de recuperación elástica. (Norma NLT-356/88)

Tras la toma de datos, se representan las deflexiones obtenidas en un gráfico X-Y en el eje de abscisas las distancias desde un punto origen, o un hito kilométrico, y en el de ordenadas el valor de la deflexión en dicho punto. (Figura 1).

Siguiendo el procedimiento para estudiar un posible refuerzo, el paso posterior consiste en dividir la carretera auscultada en tramos homogéneos. Mirando cualquier deflectograma es frecuente encontrar dificultades a la hora de

(*) Profesor de la U.P.M. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Obras Públicas. Departamento de Ingeniería Civil-Tecnología de la Construcción.

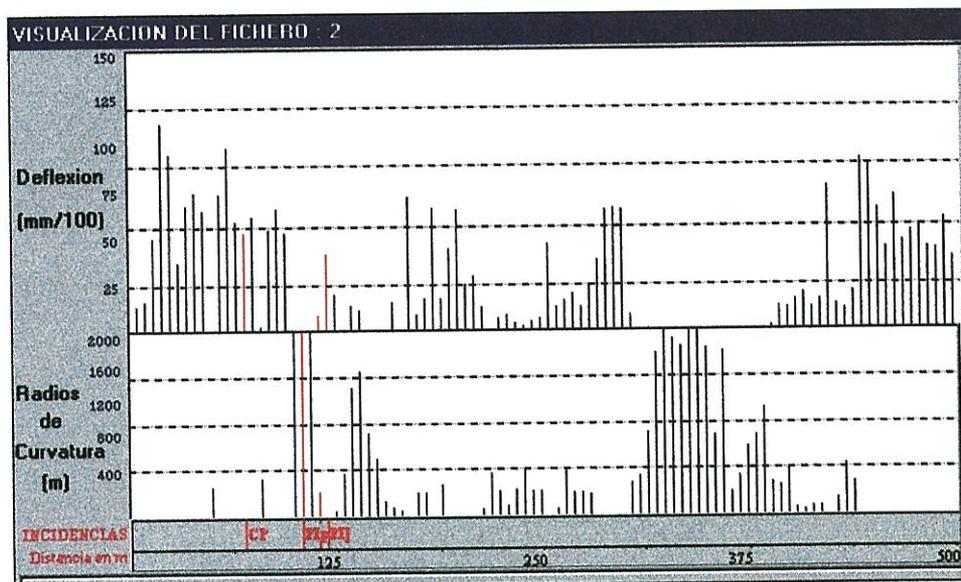


FIGURA 1. Medidas de deflexión y radios de curvatura.

dividir la carretera en tramos que posean similares medidas de deflexión y cuyas desviaciones alrededor del valor medio no sean grandes, es decir, tramos homogéneos. (Para una definición más precisa ver O.C. 323/97 T. Anejo1, apartados 4.2 y 5.4)

No es nada fácil establecer estas divisiones empleando métodos visuales, pero dada la complejidad que plantean los métodos automáticos, los técnicos de los departamentos de conservación de los distintos estamentos públicos y privados, se “colocan las gafas de tramificar” y obtienen resultados con gran criterio.

Es evidente que todo lo que depende del individuo es subjetivo, y por tanto, si dos personas tramifican una carretera, los resultados que se obtienen posiblemente no serían los mismos. No sólo eso, sino que además, aun siendo distinta tramificación, es posible que cualquiera de ellas sea una buena división en zonas homogéneas.

Hoy en día, con la evolución de la informática, se han podido desarrollar algoritmos de cálculo que por complejos e iterativos que sean nos ofrecen resultados en unos pocos segundos. Seguidamente se presenta el fundamento teórico de uno de ellos, que si bien está basado en la estadística, la realidad es que el método es esencialmente empírico.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Tradicionalmente se ha considerado como un tramo homogéneo a aquel representado por un grupo de valores que oscilan en torno a un valor medio, con poca desviación respecto a dicho valor, en el cual se aprecia una discontinuidad en la tendencia de los valores con respecto a los anteriores y posteriores a dicho tramo.

Existen diversos métodos de cálculo para tramificar automáticamente una carretera, basados en la aplicación de métodos estadísticos, concretamente en el estudio de las deflexiones (es evidente que se puede aplicar a cualquier otro parámetro), calculando en qué medida se puede afirmar que los datos que componen un tramo se asemejan, en mayor o menor grado, a una distribución normal tipificada.

De forma práctica cualquier estudio estadístico basado en una distribución normal es aplicable siempre que la muestra sea mayor de 30 valores discretos. El método que se pre-

senta seguidamente permite situaciones en las cuales los tramos quedan reducidos a 20 datos (100 metros); esto implica que dicho método estadístico y la prueba del grado de normalidad debería adaptarse a otro tipo de distribución, sin embargo, lo cierto es que al emplear este método, los resultados han sido bastante satisfactorios y es por ello que no se ha considerado la posibilidad de emplear otros, que a priori podrían ser más adecuados.

El modelo desarrollado para la división de un tramo en zonas homogéneas está basado en medir el “grado de normalidad” que tiene dicho tramo, es decir, la aproximación que sus deflexiones tienen a una distribución normal de frecuencia, aplicando una serie de matices que se describen a continuación.

La distribución normal está definida por una función de densidad de la forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}$$

Donde:

μ : es la media de la distribución

σ : es la desviación típica y;

x : es un valor que pertenece al intervalo $(-\infty, +\infty)$

Para conocer en qué medida se aproxima una serie de datos a una distribución normal, se debe analizar cada valor de dicha serie calculando el valor de la probabilidad de que el suceso sea cierto. Posteriormente se someterá al conjunto de los resultados a una prueba estándar que medirá el grado de normalidad de la serie.

Para obtener el resultado de la probabilidad se debe integrar la función normal tomando como límites de integración $(-\infty, X)$:

$$P(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}} dt$$

En realidad la medida de probabilidad devuelve como resultado un valor comprendido entre 0 y 1, siendo 0 el valor de *probabilidad nula* de que un suceso de valor menor o igual que X aparezca en la serie de datos cuyo valor medio

es μ y la desviación típica σ . El valor de probabilidad 1 responde al suceso de que el 100% de los datos de la serie corresponden a un valor menor o igual a X.

En este proceso se puede ahorrar un gran número de operaciones empleando los valores tabulados de la distribución normal que tiene como valor medio el 0 y como desviación típica el valor 1. Para ello se debe realizar un cambio de variable que corresponde a:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

La nueva variable sigue una distribución normal cuya función de densidad corresponde a una expresión del tipo:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}Z^2}$$

Los valores que resultan de calcular la probabilidad de cualquier suceso en una distribución normal tipificada (0,1) se pueden almacenar en memoria al principio del proceso de cálculo o trabajar sobre un fichero y acceder al mismo durante el proceso. Esta cuestión ahorra multitud de cálculos y consecuentemente mucho tiempo de proceso de datos.

Sobre la base descrita se construye el presente método de cálculo, matizado por una serie de cuestiones que imprimen al mismo un carácter eminentemente empírico.

Aunque se trate de una decisión que se pueda discutir de alguna forma, para la estimación de la distribución se ha realizado una consideración previa en función de la experiencia. Los tramos de carretera sobre los cuales se ha trabajado nos demuestran, de forma más o menos constante, que se puede considerar un tramo homogéneo cuando los valores que componen el mismo presentan una desviación típica no superior al 10% del valor medio y es a este tipo de distribución normal a la que se ajusta la referencia de cualquier tramo, sea cual sea su desviación típica.

Tratando de justificar la consideración del cálculo de probabilidad del suceso a una distribución cuya desviación tí-

pica corresponde siempre al 10% del valor medio se expone a continuación un ejemplo ilustrativo:

Sean dos deflectogramas correspondientes a un tramo de carretera (ver figuras 2 y 3). Ambos gráficos presentan una clara división en tramos homogéneos, pero se diferencian en el grado de homogeneidad del primero de ellos.

En la figura 2 se aprecia como las deflexiones correspondientes al primero de los tramos mantienen un alto grado de homogeneidad.

El valor medio de las deflexiones en el primero de los tramos es de 100 y la desviación típica de 5.

En el gráfico presentado en la figura 3 el primero de los tramos presenta una mayor heterogeneidad. El valor medio de las deflexiones es de 100 y la desviación típica de 20.

Si bien el tramo analizado se considera homogéneo en el primero de los casos y en el segundo no, la tramificación efectuada es la forma más correcta de dividir la zona estudiada. Por tanto, resulta práctico la división en tramos de iguales características, independientemente de si mantienen una gran desviación con respecto a la media o no.

Cuando se analizan las funciones de densidad de probabilidad de estos dos tramos, se puede apreciar como en el primero presenta un aspecto mucho más puntiagudo (leptocúrtico) lo cual deriva en que para un mismo dato el valor de la función de densidad de probabilidad en uno y otro caso es distinto. (Figura 4).

En caso de pretender la búsqueda únicamente de tramos homogéneos, entendiendo así, como aquellos cuyas deflexiones giren en torno a la media y tengan una baja desviación típica, el método debería basarse en el estudio de la función normal de probabilidad de todo el deflectograma buscando las zonas que cumplieran una determinada prueba de la normalidad del tramo. En ese sentido la Orden Circular indica que un tramo se puede considerar homogéneo cuando del orden del 95% de los valores de las deflexiones están comprendidos entre 0,5 veces la media y 1,5 veces la media y además el coeficiente de variación (desviación típica/media) normalmente sea inferior a 0,40.

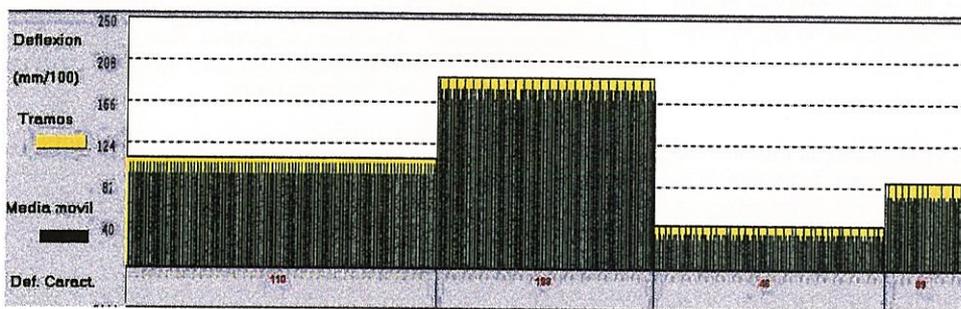


FIGURA 2. Tramificación con valores homogéneos.

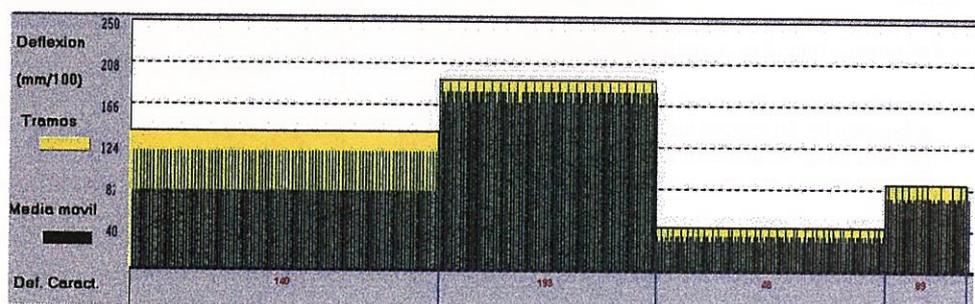


FIGURA 3. Tramificación con valores heterogéneos.

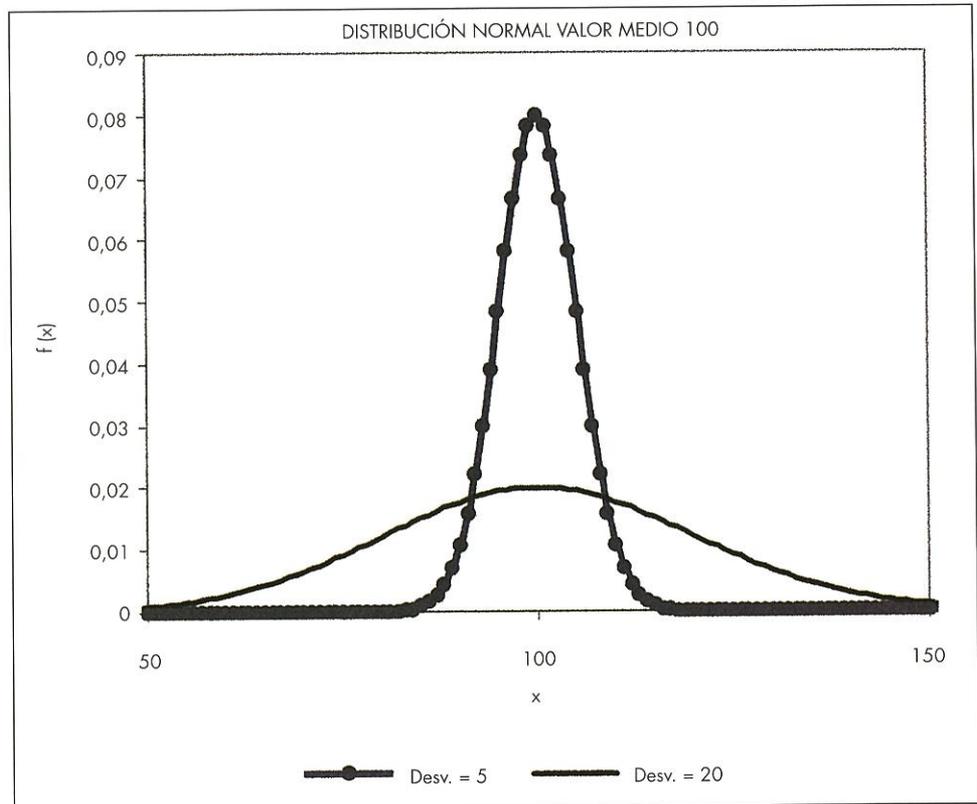


FIGURA 4. Funciones de densidad de valor medio 100 y desviaciones típicas de 5 y 20 respectivamente.

El resultado final con el método cuyos pasos se describen a continuación se aproxima en gran medida a las indicaciones de la Orden Circular. No obstante, es necesario insistir en que es frecuente encontrar un deflectograma con grandes dispersiones que dificultan o imposibilitan la aplicación de estas indicaciones y sin embargo resulta bastante útil dividir la carretera en tramos cuya tendencia media en valores de deflexión podamos cuantificar. En este sentido se amplía la acepción de tramo homogéneo sustituyéndola por “tramo de tendencia media”.

3. DESARROLLO

Una vez descrito el fundamento, y justificada la filosofía empleada en el método, se describe paso a paso la secuencia de trabajo del algoritmo de cálculo que permite dividir una carretera en tramos de la misma *tendencia media*.

3.1. GENERACIÓN DE UNA TABLA DE CÁLCULO

Para considerar los puntos de corte se realizan una serie de cálculos sobre los datos originales que se resumen de forma sencilla:

Si consideramos: $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$, los valores puntuales de las deflexiones tomadas se realizan los siguientes pasos:

- Cálculo de la media móvil en tramos de 100 metros, considerando los 50 metros anteriores y posteriores al punto. De este modo se generan una serie de valores que denominaremos $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$, donde cada m_i será:

$$m_i = \frac{\sum_{x=i-10}^{i+10} d_x}{21}$$

Los primeros y los últimos 50 metros se tratarán de forma que la media obtenida sea la de los 50 metros posteriores al valor considerado (en el caso de los primeros) o de los 50 metros anteriores (en el caso de los últimos 50 metros).

A partir de este momento nos olvidamos de los valores puntuales de las deflexiones para emplear estos datos como deflectograma, ya que el número de datos obtenidos es igual al de medidas originales. Este paso permite suavizar las medidas y ayuda en gran medida al cálculo de la *tendencia media* de los datos.

- Sobre los datos que representan la media móvil anterior se realiza un cálculo de la media por tramos de 100 metros quitando un dato por detrás de la serie y añadiendo el siguiente a la misma. De este modo se genera una nueva serie de datos igual al de medidas originales con el siguiente cálculo:

$$h_i = \frac{\sum_{x=i}^{i+19} m_i}{20}$$

Sean $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ los valores calculados en el paso anterior. La nueva serie de datos estará compuesta por $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ donde cada h_i se obtiene de la siguiente forma:

Evidentemente los últimos 100 metros tienen un tratamiento especial. Para este caso se emplean las mismas consideraciones descritas en el apartado anterior.

Al mismo tiempo se considera, en cada punto (que refleja la media), como valor de referencia de desviación

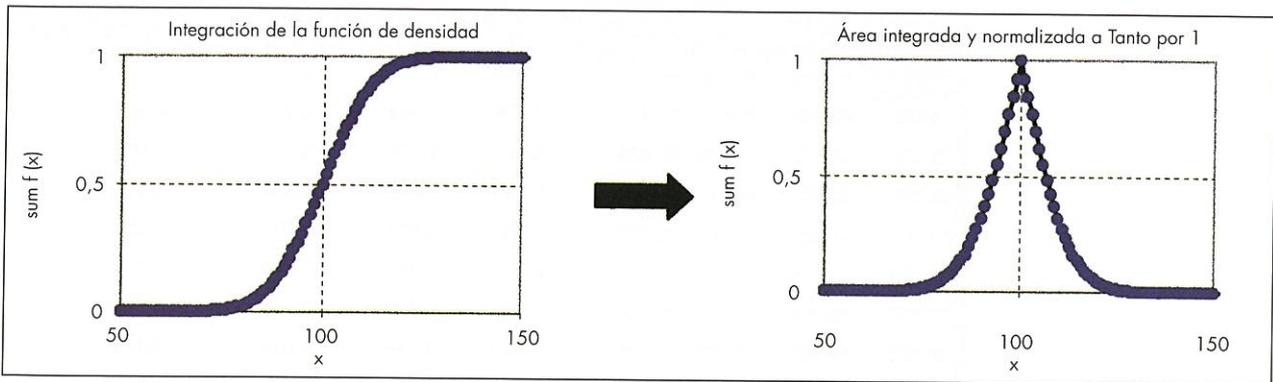


FIGURA 5. Normalización a tanto por 1 de la función de probabilidad.

típica la décima parte del valor medio calculada tal y como se ha descrito. A cada h_i le corresponde un valor ($h_i/10$).

- c) Cálculo del valor de la función de probabilidad ajustando el cálculo de una distribución normal cuyo valor medio y desviación típica están definidos en el punto anterior. Esto se realiza para cada m_i considerando un valor medio de h_i y una desviación típica de $h_i/10$. De este modo se obtiene el mismo número de valores de probabilidad (p_i) que datos originales de deflexión.

Para simplificar dicho cálculo se realiza el cambio de variable correspondiente para transformar los datos a una distribución normal de valor medio cero y desviación típica uno descrito en el apartado de fundamentos teóricos. El valor resultante está tabulado en cualquier tratado estadístico.

Para analizar en qué medida el valor utilizado en los cálculos se aproxima a la media se aplica al valor de la función de densidad (probabilidad) el siguiente ajuste:

- Si el valor de $p(m_i) \leq 0,5$ entonces se multiplica por dos: $2 \cdot p(m_i)$.
- Si el valor de $p(m_i) > 0,5$ se realiza la operación: $2 \cdot [1 - p(m_i)]$.

En la figura 5 se puede apreciar como se pasa de la función de densidad en cada punto al ajuste descrito.

Hasta este momento se ha obtenido el valor de $p(m_i)$ para cada dato de la media móvil utilizando las medidas que corresponden, en cada caso, a los 100 metros posteriores a la misma.

- d) Comprobamos la tendencia de la función de probabilidad suavizando la misma de forma que se hizo con la media móvil, es decir de 100 en 100 metros.

Si $p(m_i)$ es el cálculo de la función de densidad para un suceso m_i , dentro de una serie de valor medio h_i y desviación típica $h_i/10$, en este último paso para la confección de la tabla de cálculos se calcula para cada dato la siguiente media:

$$mp_i = \frac{\sum_{x=i}^{i+19} p(m_i)}{20}$$

Es necesario insistir que todos los cálculos descritos en los apartados anteriores permiten generar una tabla donde el número de datos que se calcula en cada paso es igual al número de deflexiones de partida. Además sería oportuno indicar que este algoritmo de cálculo es válido para cualquier parámetro y , por tanto, en función del número de datos que compongan una serie de 100 metros, habrá que sustituir los índices de los distintos sumatorios propuestos, así como el divisor de los mismos, empleado para el cálculo de los valores medios.

En la figura 6 aparece una tabla con los datos de cálculo tal y como se han descrito en estos apartados. Asociado a la tabla se presentan la figura 7 donde se aprecia sobre el gráfico la media móvil y la función de probabilidad media normalizada a tanto por 1, que para ser apreciada está multiplicada por 100.

3.2. CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS DE LA CARRETERA

Este paso pretende acotar las características generales de todos los valores que componen el tramo. Parece evidente que no es lo mismo tramificar una carretera cuando las medidas de deflexión varían suavemente que si por el contrario tenemos valores muy dispares dentro de la misma. En el primero de los casos el criterio de corte para tramos puede ser mucho más estricto que en el segundo.

Por ello, el siguiente cálculo que se realiza es la determinación del valor medio y la desviación típica de todos los valores de deflexión medidos sobre la carretera a estudiar. La relación entre ambos parámetros se define como un coeficiente cuyo valor será definitivo en el criterio de corte de los tramos homogéneos que componen la carretera y que a partir de ahora se denomina C_t . (Inverso del coeficiente de variación).

Después de estudiar muchos tipos de carreteras se observa que existe una relación entre C_t (inverso del coeficiente de variación) y los puntos de corte en zonas homogéneas. Esta relación se describe y justifica con detalle en los pasos sucesivos y a partir de ahora se define como C_n (Coeficiente de la normal).

Este valor delimita los cambios de tendencia media de los distintos tramos en que quedaría dividida una carretera. De forma muy sencilla, después de la generación de la tabla de cálculo, (descrita con detalle en el apartado 3.1.) se puede afirmar que la tendencia media de un tramo cambia cuando el valor suavizado de la función de densidad mp_i , está por debajo de C_n .

Distancia	Deflexion	M. móvil	M.M. móvil	Desviacion	F. Normal	Probabilidad	M. probabilidad
5.000	81.000	68.000	66.531	6.653	0.220	0.834	0.708
10.000	82.000	70.000	64.753	6.475	1.050	0.303	0.583
15.000	69.000	71.556	61.864	6.186	1.370	0.174	0.409
20.000	64.000	68.667	61.681	6.168	1.030	0.308	0.411
25.000	46.000	65.444	61.345	6.134	0.600	0.555	0.421
30.000	54.000	66.333	61.214	6.121	0.770	0.447	0.428
35.000	76.000	65.667	60.824	6.082	0.740	0.472	0.453
40.000	64.000	63.333	60.598	6.060	0.520	0.610	0.464
45.000	76.000	59.778	60.410	6.041	0.180	0.928	0.479
50.000	99.000	52.000	59.909	5.991	1.010	0.317	0.393
55.000	96.000	44.000	59.899	5.990	2.210	0.029	0.393
60.000	43.000	69.909	63.335	6.334	2.670	0.008	0.364
65.000	35.000	65.636	62.938	6.294	2.790	0.005	0.469
70.000	54.000	64.273	62.276	6.228	3.480	0.001	0.483
75.000	48.000	62.818	61.745	6.174	4.340	0.000	0.503
80.000	55.000	63.636	61.580	6.158	5.980	0.000	0.513

FIGURA 6. Tabla de cálculos.

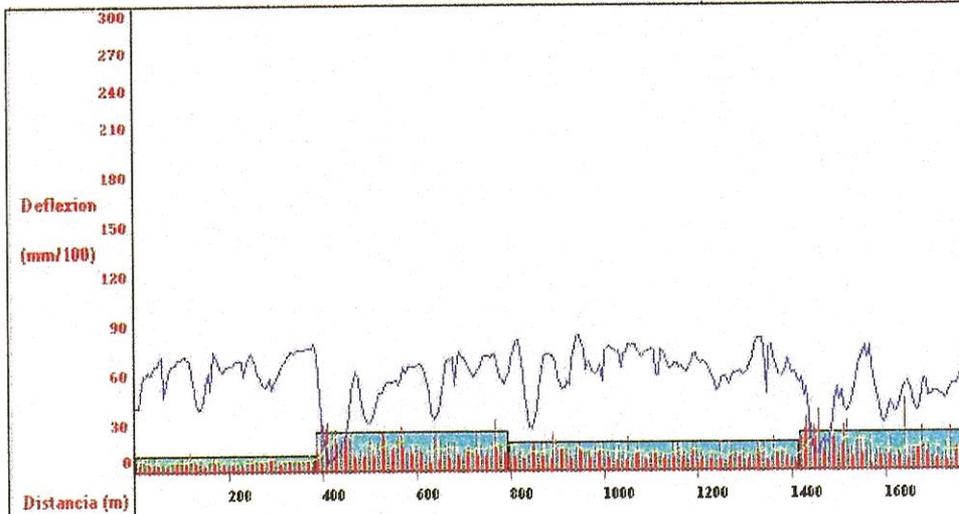


FIGURA 7. Gráfico de tramificación final.

En resumen, este valor establece la distinción de la tendencia media de los datos realizando el corte de un tramo homogéneo en función de la tendencia media de la función de probabilidad, considerando como un tramo representativo el delimitado por dos puntos de la función de probabilidad suavizada que estén por debajo del valor calculado como coeficiente de la normal, definido en la ecuación de la figura 8.

Como se ha indicado, la relación entre ambos parámetros se ha obtenido a partir del estudio de diferentes coeficientes C_n en distintas carreteras. Empleando de forma iterativa unos u otros para el cálculo automático y comparando los resultados, se observa que unos ofrecen resultados más satisfactorios que otros. Repitiendo la operación en tramos de distintas características y tomando nota en cada caso de los coeficientes anteriormente descritos, ha sido posible elabo-

rar un gráfico donde aparezcan ambos parámetros relacionados.

La nube de puntos se ha aproximado a un polinomio de grado tres ajustando por el método de mínimos cuadrados tal y como aparece representado en la figura 8.

Todos los tramos estudiados tienen un coeficiente (C_t) comprendido entre 1,0 y 2,5. Por este motivo se realiza la limitación. Si la carretera presenta un valor de desviación típica superior al valor de la media, el coeficiente de la normal toma el valor 0,15 y si el valor de la media supera en 2,5 veces el valor de la desviación típica, el valor del coeficiente de la normal será igual a 0,3.

3.3. FILTROS DE UNIÓN DE TRAMOS

Al final de toda tramificación que tiene como finalidad establecer las zonas homogéneas con un valor de defle-

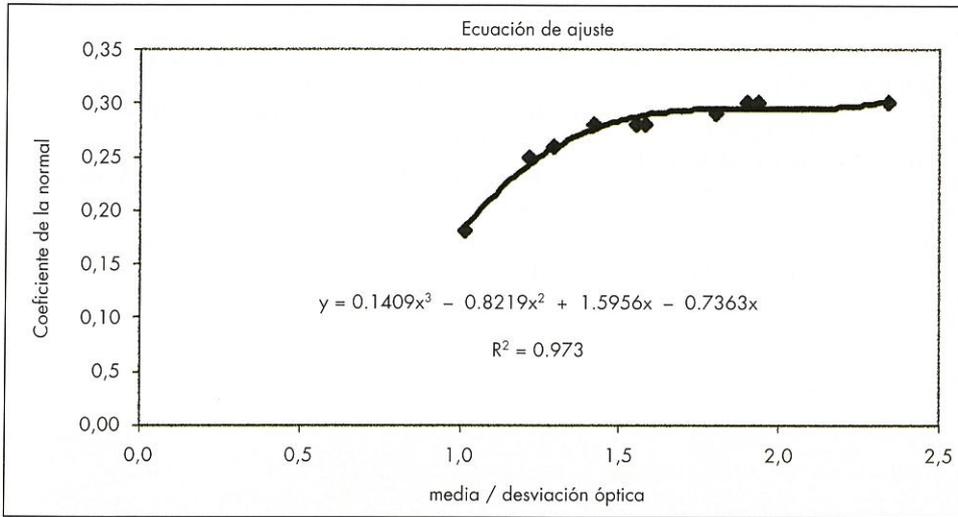


FIGURA 8. Coeficiente de ajuste de la normal.

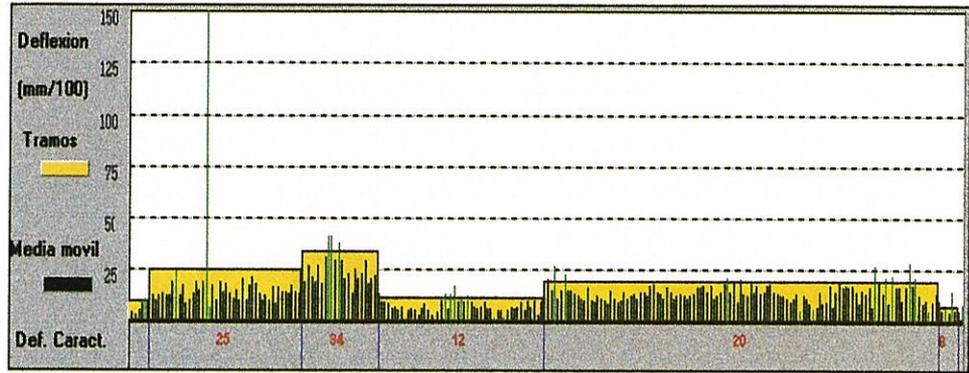


FIGURA 9. Ajuste del punto de corte. Resultado final.

ción característica, cuyo objeto no es otro que servir de base para establecer el cálculo de refuerzo de un firme, se añaden al cálculo una serie de “filtros” que tratan de hacer más razonable el resultado final de la tramificación evitando la consecución de tramos que se puedan unir.

Los criterios de unión son los que se relacionan seguidamente:

- Tramos que estén seguidos cuyo valor medio difiera en menos del 5% y además la desviación típica también lo haga en la misma medida.
- Tramos seguidos cuyas deflexiones características (media + 2 veces la desviación típica) sean similares: (ver Tabla 1).

Rango de deflexiones características	Se unen las que difieran en menos de:
0-30	5
30-100	10
>100	20

Nota: las deflexiones en mm/100

TABLA 1.

- Por último, siguiendo las indicaciones de la Instrucción y también de la Orden circular, el algoritmo de cálculo no permite la aparición de tramos de longitud inferior a 100 metros ni superior a 1.000 metros.

3.4. PUNTO EXACTO DE CORTE

Los datos obtenidos como media de la probabilidad de la función normal (mp_i) arrastran un error de desplazamiento en los datos propiciado por la suavización de los mismos. Ello provoca que, en muchos casos, el punto de corte esté desplazado respecto al que visualmente se aprecia que debería ser.

Como último paso en la tramificación se ajusta el punto de corte de cada tramo empleando un algoritmo que permite definir el punto exacto donde los datos cambian su tendencia (Figura 9).

Los pasos son los siguientes:

- Almacenar los valores de deflexión antes y después del punto de corte inicial (7 por delante y 7 por detrás).
- Comparar en cada punto el mayor y menor de los valores con respecto a la media de las deflexiones del tramo posterior al corte (MAX)_a y (MIN)_a.
- Definir en cada caso el mayor y menor de los valores con respecto a la media del tramo anterior al corte (MAX)_b y (MIN)_b.

- d) Calcular para los 15 datos las relaciones: $A = [(MIN) a/(MAX)a]$ y $B = [(MIN) b/(MAX)b]$
- e) Determinar para cada punto la relación (B/A)
- f) Marcar como punto de corte más adecuado a aquel cuyo primer (B/A) supera la unidad y además en los tres puntos que le siguen al menos dos de ellos también superan la unidad.

Como apoyo al método de corte exacto, se aporta un ejemplo bastante ilustrativo (ver Figura 10).

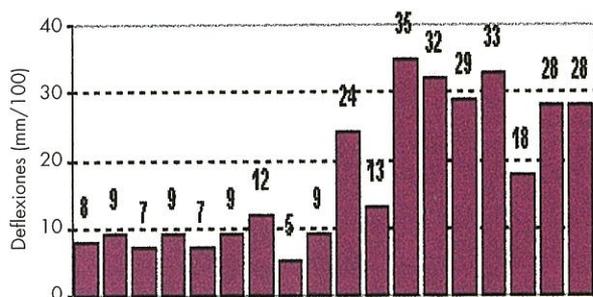
4. RESULTADOS

Considerando de forma escueta los pasos que realiza el algoritmo de cálculo automático para obtener zonas homogéneas sobre un deflectograma se podrían apuntar los pasos secuenciales anteriormente detallados:

- a) Suavización de los datos mediante el cálculo de la media móvil con los 50 metros anteriores y 50 posteriores.
- b) Cálculo de la media móvil de los datos anteriores por tramos de 100 metros de forma recursiva (quitando el primer dato y añadiendo uno más al final).

Distancia	Valores	Anterior		Posterior		Anterior (A) (MINa)/(MAXa)	Posterior (B) (MINb)/(MAXb)	Ratio (B/A)
		Valor Máximo (MAXa)	Valor Mínimo (MINa)	Valor Máximo (MAXb)	Valor Mínimo (MINb)			
0	8	8.093	8	16.765	8	0.99	0.48	0.48
5	9	9	8.093	16.765	9	0.90	0.54	0.60
10	7	8.093	7	16.765	7	0.86	0.42	0.48
15	9	9	8.093	16.765	9	0.90	0.54	0.60
20	7	8.093	7	16.765	7	0.86	0.42	0.48
25	9	9	8.093	16.765	9	0.90	0.54	0.60
30	12	12	8.093	16.765	12	0.67	0.72	1.06
35	5	8.093	5	16.765	5	0.62	0.30	0.48
40	9	9	8.093	16.765	9	0.90	0.54	0.60
45	24	24	8.093	24	16.765	0.34	0.70	2.07
50	13	13	8.093	16.765	13	0.62	0.78	1.25
55	35	35	8.093	35	16.765	0.23	0.48	2.07
60	32	32	8.093	32	16.765	0.25	0.52	2.07
65	29	29	8.093	29	16.765	0.28	0.58	2.07
70	33	33	8.093	33	16.765	0.25	0.51	2.07
75	18	18	8.093	18	16.765	0.45	0.93	2.07
80	28	28	8.093	28	16.765	0.29	0.60	2.07
85	28	28	8.093	28	16.765	0.29	0.60	2.07

GRÁFICO DE DEFLEXIONES



VALORACIÓN DEL PUNTO DE CORTE

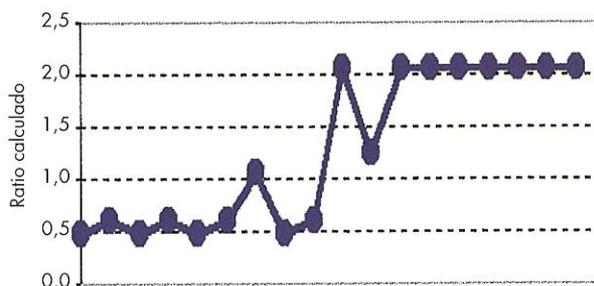


FIGURA 10. Afino del punto de corte. Valor medio del tramo anterior: 8.093. Valor medio del tramo posterior: 16.765.

- c) Fijar el valor de desviación estándar como la décima parte del valor medio correspondiente a los datos anteriores.
- d) Valor de la función normal de probabilidad para cada dato.
- e) Cálculo de la media móvil de los valores de la función normal de probabilidad de forma recursiva en tramos de 100 metros.
- f) Cálculo de la media de todo el tramo a estudiar y de su desviación típica para posteriormente calcular el coeficiente de la normal.
- g) Determinación de las zonas homogéneas cortando en los puntos cuyo valor de la media móvil de probabilidad sea inferior al coeficiente de la normal.
- h) Definición y unión de tramos.
- i) Ajuste por variación de tendencias medias del punto exacto de corte.

5. AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al departamento de Gestión de Infraestructuras de GEOCISA y muy especialmente

a D. Rafael Álvarez Loranca, Ingeniero de Caminos jefe del departamento y a D. Jorge de Diego, Ingeniero de Caminos jefe de la división de proceso de datos de dicho departamento, por su colaboración en la ejecución y revisión de las distintas fases en las que se desarrolló este trabajo, aportando en todo momento las críticas que ayudaron a pulir el método. Así mismo agradezco a los programadores de System Consultores Informáticos su inagotable paciencia demostrada durante el desarrollo informático del método descrito.

6. BIBLIOGRAFÍA

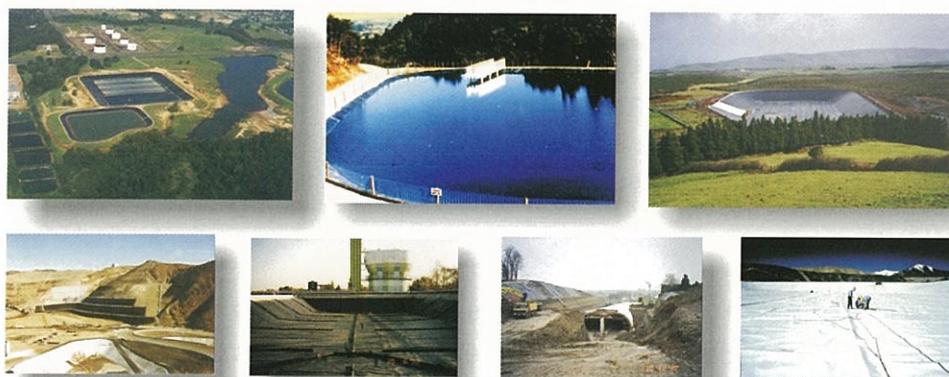
MATEO LÓPEZ, LUIS J. (1986): *Estadística*. 193 pág. Universidad Politécnica de Madrid (ISBN: 84-600-4.614-1).

Ministerio de Fomento (1997): Orden Circular 323/97 T. *Recomendaciones para el proyecto de las actuaciones de rehabilitación de firmes con pavimento bituminoso*. Dirección General de Carreteras, Madrid.

MOPU (1980): Instrucción 6.3 IC. *Refuerzo de Firmes*, 39 pág. Dirección General de Carreteras, Madrid (ISBN: 84-7433-108-0).



La Geomembrana de su Confianza



- **Embalses y Canales de Agua para Riego, Estanques Ornamentales • Depuradores**
- **Vertederos Controlados • Depósitos Industriales • Plataformas de Acopio en Minería**
- **Obras Subterráneas: Túneles, Sistemas de Saneamiento**