

NUEVA METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION DE LAMINAS BITUMINOSAS IMPERMEABILIZANTES CON AUTOPROTECCION MINERAL

ISABEL RODRIGUEZ (*)
MANUEL BLANCO FERNANDEZ (**)
NICANOR PRENDES (***)

RESUMEN. De acuerdo con la norma UNE 104-242/1-2, las láminas de betón modificado con elastómeros o plastómeros, deben poseer una serie de características generales que las hacen aptas para su empleo en impermeabilización en la construcción. Actualmente, se están desarrollando nuevos métodos analíticos que permiten profundizar en el estudio de la caracterización de las láminas y orientar sobre la durabilidad de las mismas.

En este trabajo se describe el proceso de caracterización tradicional de láminas bituminosas impermeabilizantes con autoprotección mineral y se comparan los resultados obtenidos de los ensayos de caracterización efectuados en una lámina bituminosa impermeabilizante con autoprotección mineral de fabricación nacional, y otra fabricada en Canadá.

ABSTRACT. According to UNE 104-242/1-2 regulations, bituminous roofing membranes must have fixed characteristics to be employed for waterproofing purposes. Nowadays new analytical methods are being developing in order to study in depth durability and ageing processes.

The aim of this work is to describe bituminous/mineral granules roofing membranes and compare results between a roofing membrane elaborated in Spain and one manufactured in Canada.

INTRODUCCION

Las láminas bituminosas impermeabilizantes deben poseer una serie de características que contribuyan al buen funcionamiento de un sistema de impermeabilización. Actualmente, la calidad de las láminas impermeabilizantes se evalúa mediante una serie de ensayos normalizados que permiten certificar si la lámina es adecuada para ser empleada como parte de un sistema de impermeabilización.

Recientemente se están poniendo a punto nuevos métodos de evaluación como cromatografía de líquidos, análisis de imagen, microscopía de fluorescencia, espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier, que permiten completar la caracterización tradicional de

las láminas impermeabilizantes, y orientar sobre la durabilidad de las mismas.

1. ENSAYOS DE CARACTERIZACION TRADICIONAL

En la figura 1, se puede observar un esquema de una lámina bituminosa con autoprotección mineral. Generalmente, las láminas se fabrican en rollos de 10 m de largo por 1 m de ancho. Para realizar los diferentes ensayos de caracterización de las láminas, se cortan probetas de dimensiones normalizadas dependiendo del ensayo que se realice.

Por otra parte se caracteriza al mástico bituminoso modificado (mezcla betón/polímero) componente base de las láminas bituminosas impermeabilizantes. Para ello se toman muestras del mismo antes de la fabricación de la lámina. Si sólo se tienen muestras de lámina, el mástico se obtiene de la misma, mediante la separación en frío de la autoprotección, o bien tomando el mástico de los solapos laterales exentos de autoprotección.

1.1. CARACTERIZACION DEL MASTICO

La caracterización del mástico bituminoso modificado se efectúa mediante la evaluación de las siguientes propiedades:

(*) Doctora en Ciencias Químicas. Sector de Materiales del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

(**) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Sector de Materiales del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

(***) Licenciada en Ciencias Geológicas. Sector de Ciencia de Materiales del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

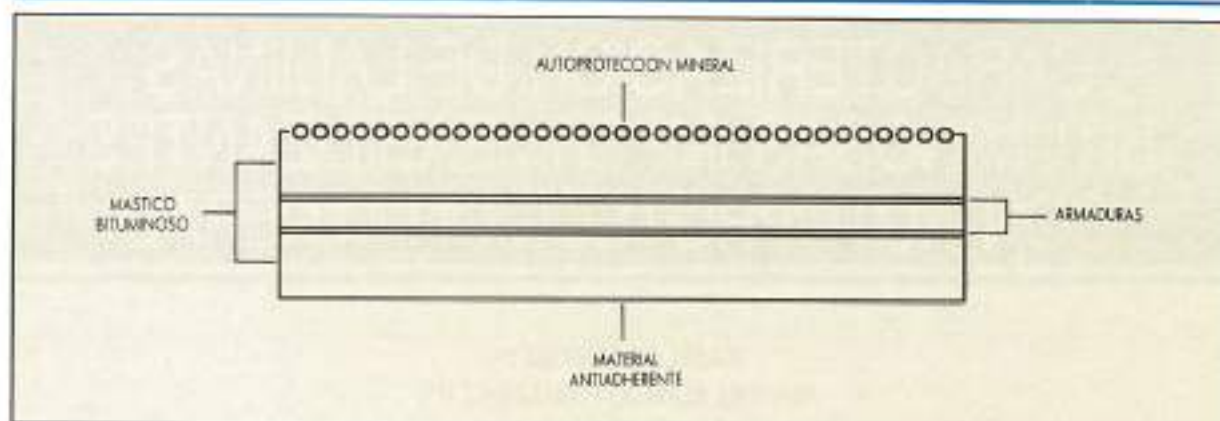


FIGURA 1.

Punto de reblandecimiento anillo y bola. En este ensayo se mide la temperatura a la cual una probeta de mástico bituminoso modificado en forma de disco y sobre la que se apoya una bola de acero normalizada se calienta en condiciones determinadas (5 °C por minuto) y se mantiene constante esta velocidad durante todo el ensayo, hasta que la probeta deformada por el calor toca una placa de referencia situada a 25 mm por debajo de la misma.

Los másticos bituminosos modificados que se utilizan para la elaboración de láminas, deben tener como mínimo un punto de reblandecimiento de 110 °C, si se van a utilizar armaduras de film de polietileno para la elaboración de las mismas o 130 °C para láminas con otras armaduras.

Penetración. Se define como la distancia en décimas de mm a la que penetra una aguja de dimensiones patrón, fijadas las condiciones de peso 100 g y el tiempo 5 s. Este ensayo pretende ser una medida de la viscosidad donde la tensión cortante es la carga dividida por la superficie de la punta de la aguja en contacto con el betón en un instante dado.

El valor de la penetración para estos másticos deberá estar comprendido entre 25 y 60.

Índice de penetración. Su medida, orienta sobre el tipo de comportamiento reológico y da una idea de la susceptibilidad de los mismos a los cambios de temperatura.

Los másticos bituminosos modificados deberán tener un punto de reblandecimiento superior a +6.

En la tabla 1 se pueden ver los resultados obtenidos de la caracterización de los másticos componentes de las dos láminas impermeabilizantes caracterizadas.

1.2. COMPOSICIÓN CUANTITATIVA DE LAS LÁMINAS

Para determinar experimentalmente la composición cuantitativa de las láminas bituminosas impermeabilizantes, se cortan probetas de dimensiones 10 x 30 cm y se pesan. Posteriormente se colocan las probetas en cartuchos y mediante la extracción con un disolvente apropiado (sulfuro de carbono, tricloroetileno, etc.) se puede obtener:

1. Masa de la armadura o armaduras exentas de material bituminoso y humedad.

CARACTERÍSTICA	LÁMINA E*	LÁMINA C*
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA, °C	106	135
PENETRACIÓN 10 ⁻¹ mm	22	30
ÍNDICE DE PENETRACIÓN	5,3	8,2

E* lámina fabricada en España.

C* lámina fabricada en Canadá.

TABLA 1.

2. Contenido de aglomerante bituminoso.
3. Materia mineral total.
4. Masa de los materiales plásticos de terminación.

En la fotografía 1, se pueden ver los componentes extraídos de la lámina E, y en la fotografía 2, los componentes de la lámina C.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de ambas láminas.

Para determinar la resistencia a la tracción (media aritmética de las fuerzas de rotura expresadas en newtons) y el alargamiento a la rotura (media aritmética de los alargamientos de cada probeta expresados en %), se emplean probetas rectangulares de 5 x 30 cm, cinco cortadas en sentido longitudinal y cinco cortadas en sentido transversal. El dinamómetro empleado para estos ensayos es un INSTRON Mod. 1195. Las condiciones de ensayo fueron las siguientes:

Velocidad de desplazamiento mm/min	100
Separación entre mordazas, cm	20
Temperatura °C	25 ± 1

La determinación de la durabilidad de las láminas impermeabilizantes se efectúa sometiendo probetas de láminas a un tratamiento de envejecimiento artificial acelerado de 21 ciclos de duración (500 horas). Cada ciclo consta de períodos de luz ultravioleta, lluvia y enfriamiento a baja temperatura:



FOTOGRAFIA 1.



FOTOGRAFIA 2.

Enfriamiento a -21°C	1 h 45'
Lluvia	1 h
Luz de arco	1 h 30'
Lluvia	2 h
Luz de arco	16 h 30'

Después de finalizado este tratamiento, en ninguna de las probetas ensayadas se aprecia la aparición de ampollas, grietas, desplazamiento ni fluencia del material bituminoso.

Actualmente se están experimentando otros tipos de

envejecimiento: combinando envejecimiento acelerado con tubos fluorescentes y envejecimiento térmico.

Para este trabajo, las láminas bituminosas ensayadas se sometieron a un proceso de envejecimiento térmico a 70°C durante seis meses. En las fotografías 3 y 4 se puede observar el aspecto de las láminas antes y después de ser sometidas al ensayo de envejecimiento. Para que este ensayo dé resultado positivo, los gránulos minerales aplicados en la superficie del recubrimiento no habrán deslizado más de 1 mm.

CARACTERISTICA	LAMINA E*	LAMINA C*
MASA MEDIA DE LA LAMINA, kg/m ²	5,31	4,90
MASA DE LAS DOS CAPAS DE REUBRIMIENTO BITUMINOSO, kg/m ²	4,01	3,81
MASA DE LA ARMADURA 1, DESATURADA Y EXENTA DE HUMEDAD, kg/m ²	0,06	0,24
NATURALEZA DE LA ARMADURA 1	FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE VIDRIO
MASA DE LA ARMADURA 2, DESATURADA Y EXENTA DE HUMEDAD, kg/m ²	0,14	0,01
NATURALEZA DE LA ARMADURA 2	POLESTER	POLETERENO
MASA DEL MATERIAL DE PROTECCION APLICADO A LA CARA EXTERNA, kg/m ²	1,10	0,83
NATURALEZA DEL MATERIAL DE PROTECCION	GRANULOS MINERALES	GRANULOS MINERALES
MASA DEL MATERIAL ANTIADHERENTE APLICADO A LA CARA INTERNA, kg/m ²	0,01	0,01
NATURALEZA DEL MATERIAL ANTIADHERENTE	POLESTER	POLETERENO
RESISTENCIA A LA TRACCION N/5 cm		
LONGITUDINAL	494	366
TRANSVERSAL	381	340
ALARGAMIENTO MINIMO A LA ROTURA %		
LONGITUDINAL	37	868
TRANSVERSAL	54	857
PLEGABILIDAD A BAJAS TEMPERATURAS °C	-15	-30

E* Lámina fabricada en España.

C* Lámina fabricada en Canadá.

TABLA 2.

2. NUEVOS METODOS DE ENSAYO APLICABLES A LA CARACTERIZACION DE LAMINAS BITUMINOSAS IMPERMEABILIZANTES

2.1. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

Esta técnica es de gran utilidad para identificación de compuestos orgánicos y análisis cualitativo y cuantitativo de los mismos. La región infrarroja abarca las regiones del espectro comprendidas entre los números de

onda 12.800 a 10 cm⁻¹, aproximadamente. Normalmente se subdivide la región infrarroja en tres partes denominadas infrarrojo cercano (12.800 a 4.000 cm⁻¹), infrarrojo medio (4.000 a 200 cm⁻¹), e infrarrojo lejano (200 a 10 cm⁻¹).

La mayoría de las aplicaciones analíticas se basan en el empleo de una parte del infrarrojo medio comprendido entre 4.000 y 670 cm⁻¹. En el caso de las láminas impermeabilizantes la aplicación de esta técnica es interesante ya que extrayendo una muestra de mástico (mezcla betún/polímero) de la lámina y aplicándola sobre una pastilla de cloruro sódico se pueden obtener los espectros de infrarrojo de los másticos componentes de las láminas impermeabilizantes.

El análisis de estos espectros es complejo ya que además de las bandas correspondientes al polímero, aparecen bandas típicas de los betunes asfálticos (1) (2) (3):

- Bandas debidas a la presencia de compuestos aromáticos a: 745, 800-810, 1.600-1.610, 1.690 y 3.030 cm⁻¹.
- Bandas debidas a la presencia de compuestos alifáticos a: 720, 1.300, 1.360-1.380, 1.450, 1.470, 2.850 y 2.950 cm⁻¹.
- Bandas debidas a la presencia de compuestos nafténicos a: 890, 930-950, 970 cm⁻¹.
- Grupos carbonilo 1.710, 1.730, 1.740 y 1.760 cm⁻¹.
- Grupos con azufre 780, 1.020-1.030, 1.330 y 3.480 cm⁻¹.

Debido a la gran cantidad de bandas que aparecen en estos espectros, resulta difícil la identificación del polímero y/o copolímero que se ha empleado para la fabricación de la lámina impermeabilizante en cuestión, ya que las bandas correspondientes a los polímeros pueden solaparse con las del betún. Para obviar esta dificultad, el sistema informático incorporado al espectrofotómetro permite trabajar con librerías, de modo que el espectro obtenido se puede comparar con los archivados en librería y de esta forma conocer la composición cualitativa de la lámina que se ensaya. Para conocer la composición cuantitativa de las láminas impermeabilizantes, diversos autores están desarrollando métodos basados en la Ley de Lambert-Beer que relaciona la absorbancia con la concentración de polímero empleado en las mezclas.

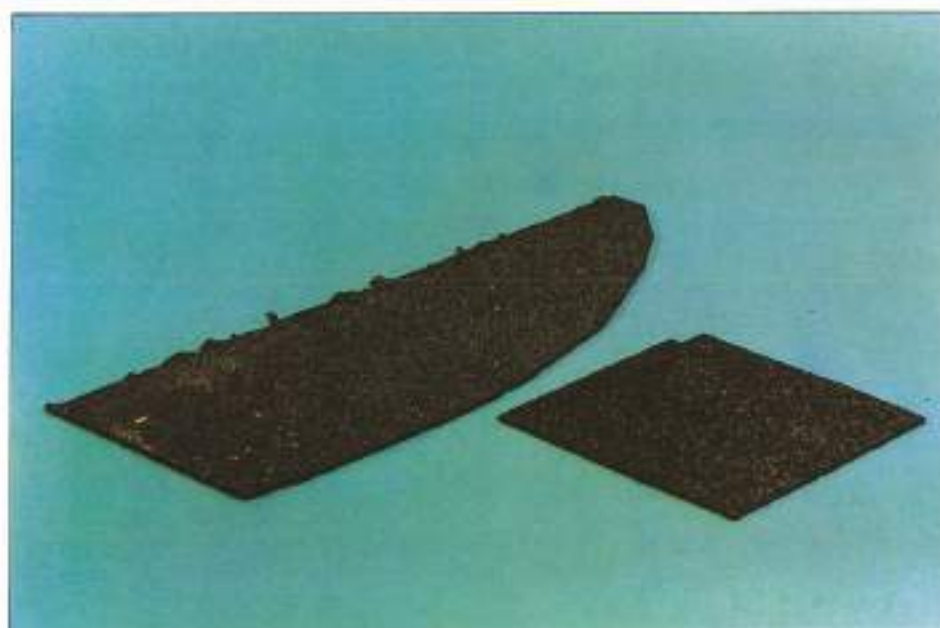
Las figuras 2 y 3 muestran los espectros de infrarrojo de los másticos de las láminas ensayadas y las figuras 4 y 5 los posibles polímeros y copolímeros empleados en la fabricación de las mismas.

2.2. MICROSCOPIA DE FLUORESCENCIA POR LUZ REFLEJADA

Existen determinadas sustancias que cuando son irradiadas con luz ultravioleta, absorben la energía de esta luz y convierten la radiación recibida en radiación de mayor longitud de onda. Este fenómeno se conoce con el nombre de luminiscencia. El tipo de luminiscencia que se detiene inmediatamente en el momento que la excitación cesa, se denomina fluorescencia.

La relación entre la longitud de onda de la luz excitante δ_e y la de la luz emitida δ_f (fluorescente) viene dada por la Ley de Stoke's, siendo:

$$\delta_e < \delta_f$$



FOTOGRAFIA 3.



FOTOGRAFIA 4.

Ya que la fluorescencia de la luz emitida es extremadamente débil en comparación con la energía de la luz de excitación, esta última contendrá luz, de la misma longitud de onda que la fluorescencia reemitida y por lo tanto puede hacerla indistinguible.

Para eliminar este problema es necesario filtrar la luz de excitación de modo que contenga una gama de longitudes de onda lo más pequeña posible y obtener así la máxima emisión de fluorescencia. Los filtros que se emplean para la selección de las longitudes de onda de excitación se denominan filtros de excitación. Si la luz

de excitación que no es absorbida por la muestra llegara directamente al observador, sería imposible reconocer la fluorescencia por lo tanto es necesario disponer de otro filtro que permita detectar exclusivamente la fluorescencia emitida por la muestra. Este filtro se denomina «filtro barrera».

En la figura 6 se puede observar un esquema del microscopio de fluorescencia empleado para el estudio de la homogeneidad de las mezclas betón-polímero. Experimentalmente se preparan portaobjetos con muestras de mástico de las láminas, habiendo separado pre-

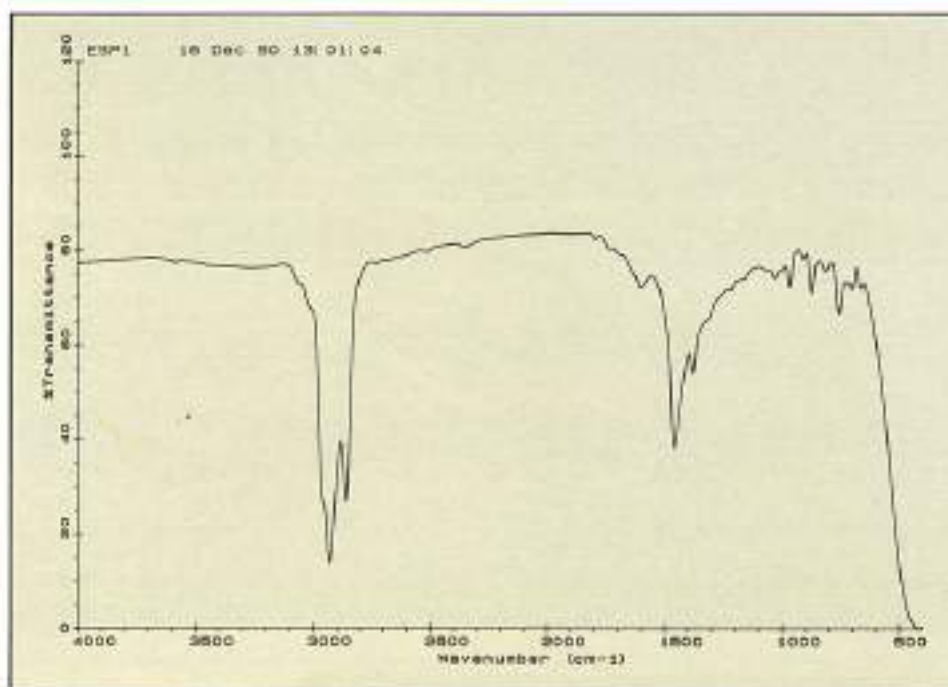


FIGURA 2.

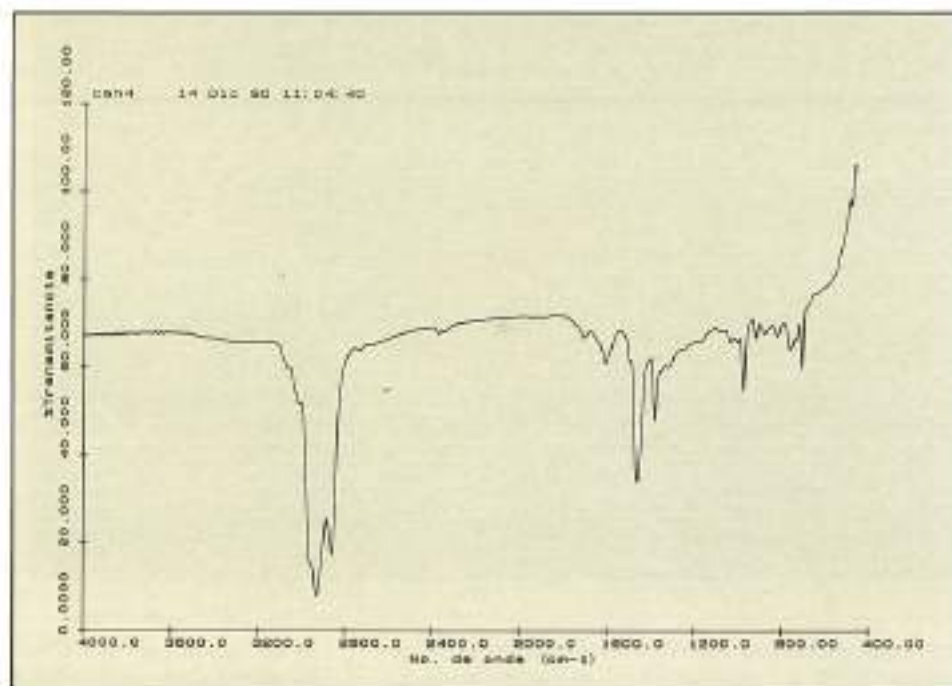


FIGURA 3.

viamente los gránulos minerales. En las fotografías 5 y 6 se puede observar la dispersión del betón en el polímero de las dos láminas analizadas (lámina E y lámina C, respectivamente). Esta técnica permite la observación directa del grado de homogeneidad de los másticos componentes de las láminas.

Diversos autores (4), han efectuado estudios en los

que se relaciona el grado de homogeneidad de una mezcla betón-polímero con el tipo de agitador y condiciones de agitación empleadas para su fabricación. Actualmente se están llevando a cabo estudios en los que se determina la variación de la homogeneidad de los másticos de láminas impermeabilizantes antes y después de haber sido sometidas a envejecimiento térmico durante seis meses.

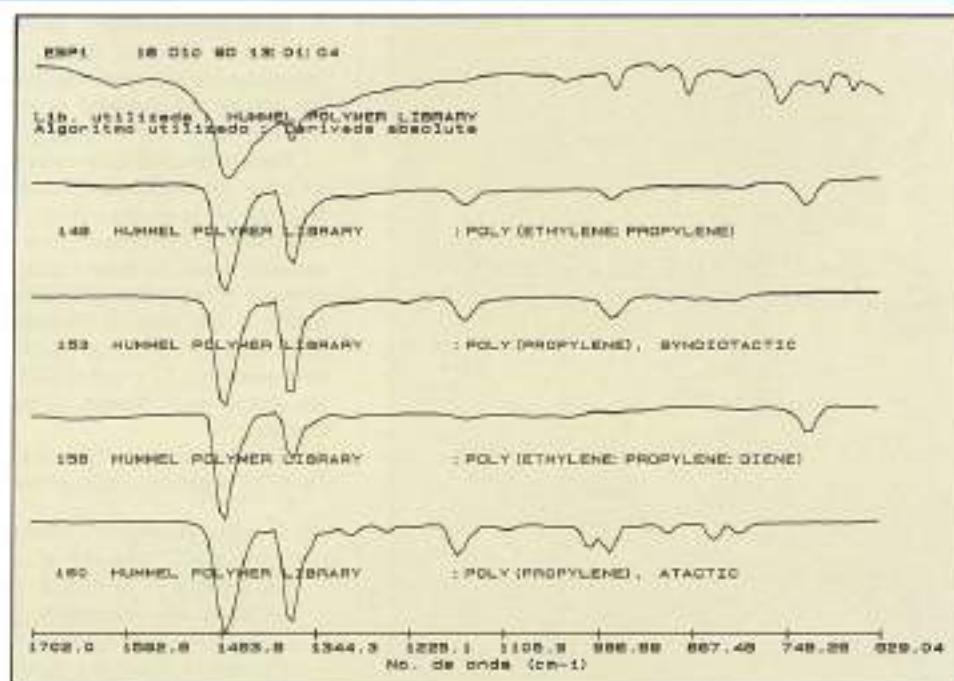


FIGURA 4.

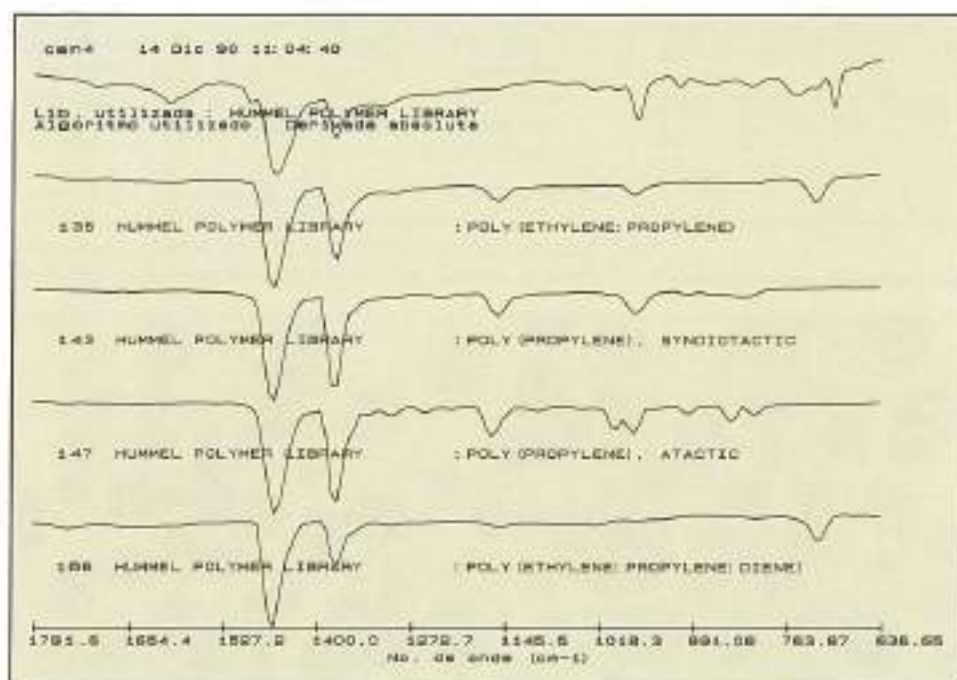


FIGURA 5.

2.3. ANALISIS DE IMAGEN APLICADO A LA DETERMINACION DE PARAMETROS DE LOS GRANULOS MINERALES UTILIZADOS PARA LA PROTECCION DE LAMINAS BITUMINOSAS IMPERMEABILIZANTES

El tratamiento digital de imagen es una técnica basada en la transformación de una imagen analógica, definida como una función continua, en una imagen digital, que es una función discreta.

El sistema de análisis de imagen consta de cuatro fases:

1. Captura y mejora de la imagen.
2. Digitización y segmentación de la imagen.
3. Cuantificación de la imagen binaria obtenida por digitización.
4. Clasificación y cuantificación de los parámetros esteológicos determinados en la imagen binaria.

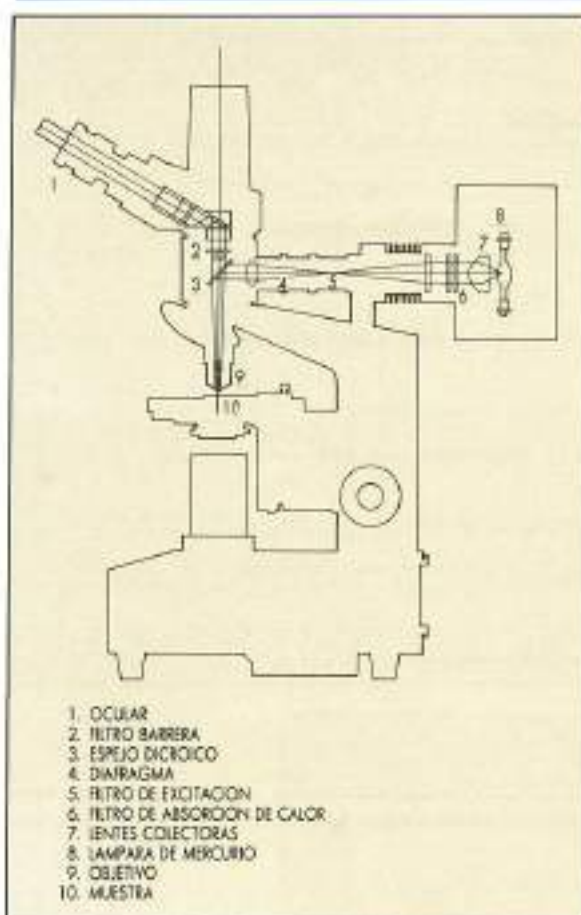


FIGURA 6.

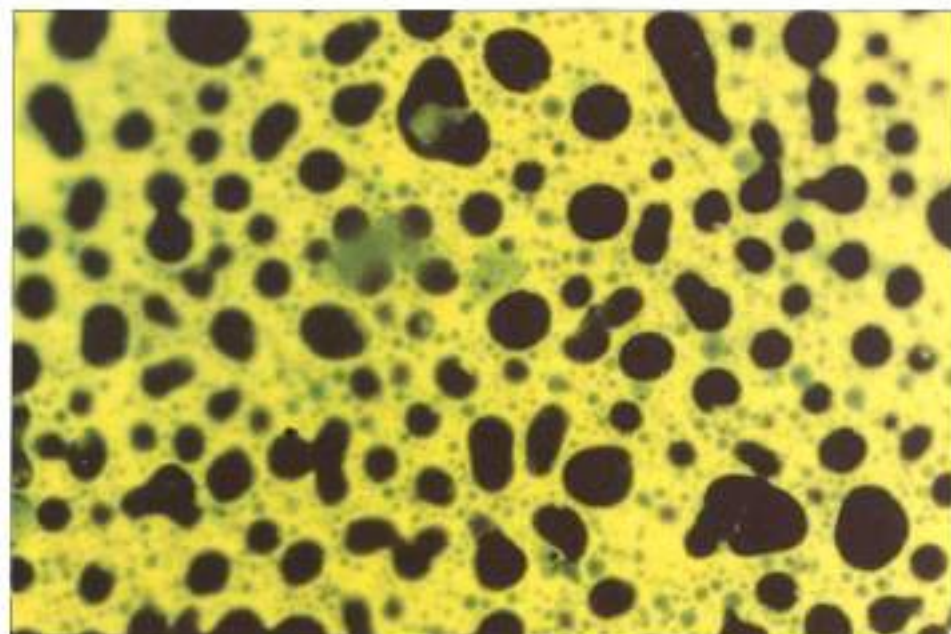
La imagen analógica se capta mediante un monitor (cámara de TV color, RGB). Esta imagen se puede descomponer en una serie de valores (x, y, z) donde « x » e « y » son las coordenadas de cada punto de la imagen, y « z » es el valor del nivel de gris de (x, y) en cada punto.

Para el monitor empleado en este estudio, los valores de « x » e « y », están comprendidos entre 0 y 511, y definen una celda de esas dimensiones, siendo cada unidad un cuadrado que proporciona información de la imagen captada. Cada elemento tiene un valor determinado de nivel de gris (de 0 a 255) siendo el 0 el negro y 255 el blanco. Cada unidad elemental, con un valor de gris determinado, define un punto denominado «pixel» (picture element) (1 pixel=0,0036 mm); la suma de todos los «pixel» es la imagen captada, sobre la que se puede trabajar.

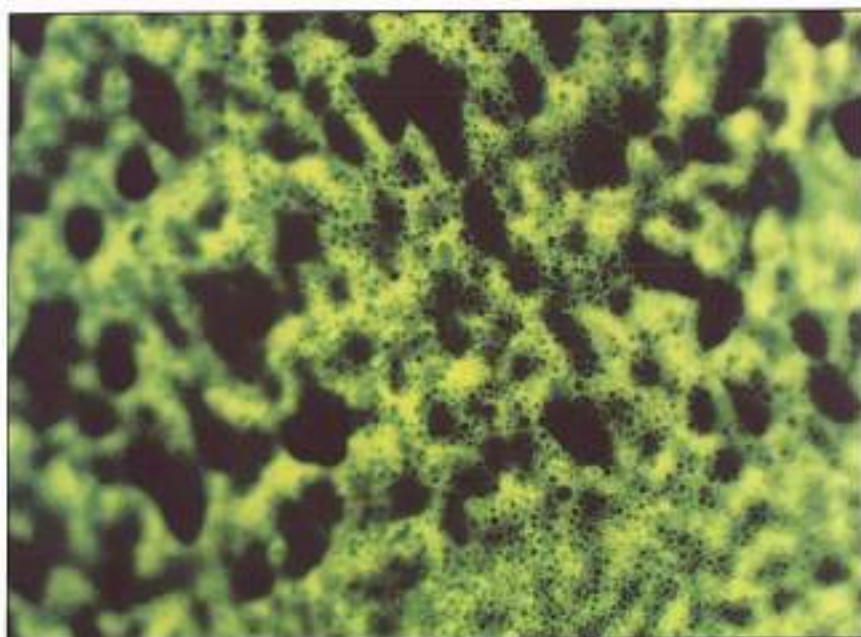
1. Para la captura y tratamiento de la imagen analógica se ha seguido la siguiente metodología:

- Se capta la imagen mediante cámara de TV en color, fotografía 7; una vez obtenida ésta, se efectúa un histograma de niveles de gris, fotografía 8, y se determinan los valores de los mismos a discriminar, mejorando la imagen captada, fotografía 9. A este proceso se denomina normalización de la imagen.
- La siguiente etapa del proceso consiste en resaltar el contorno de las imágenes, mediante la redefinición de los «pixel» a partir de un valor de nivel de gris preestablecido (50), que define el contorno del elemento a medir. Con este proceso se consigue una discriminación y medición más precisa de los objetos. Fotografía 10.

2. Después de la aplicación de estos dos algoritmos, estamos en condiciones de segmentar (discriminar) la imagen digital, transformándola en binaria. Para este caso, el umbral mínimo de gris establecido es 50 y el



FOTOGRAFIA 5 (500 X).



FOTOGRAFIA 6 (200 X).

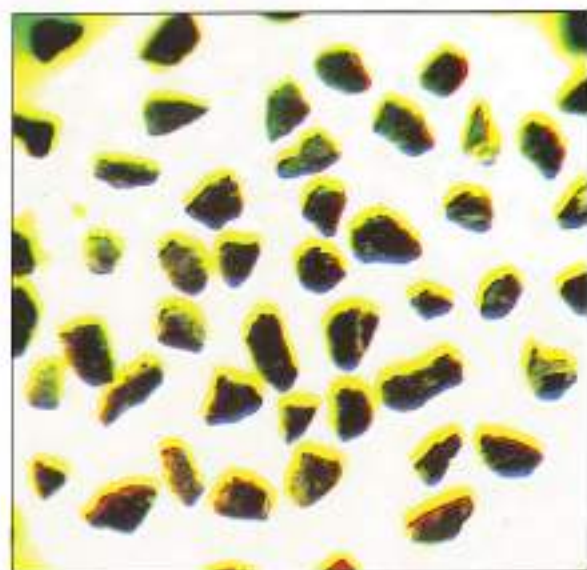
máximo 180. Esto significa que todos los «pixel» comprendidos entre estos dos valores se mantendrán y los que estén fuera, se transformarán en cero. Estos valores acotan las partículas a medir. Fotografía 11.

3. Tras la segmentación, se obtiene la imagen binaria, es decir, una imagen en blanco y negro donde el blanco representa los objetos medibles y el negro los no medibles. Esta imagen binaria consta de dos valores diferentes de «pixel», unos de 255 (blancos) y otros con valor cero (negro). Sobre esta imagen segmentada y para eliminar los ruidos de fondo se efectúa una criba de parti-

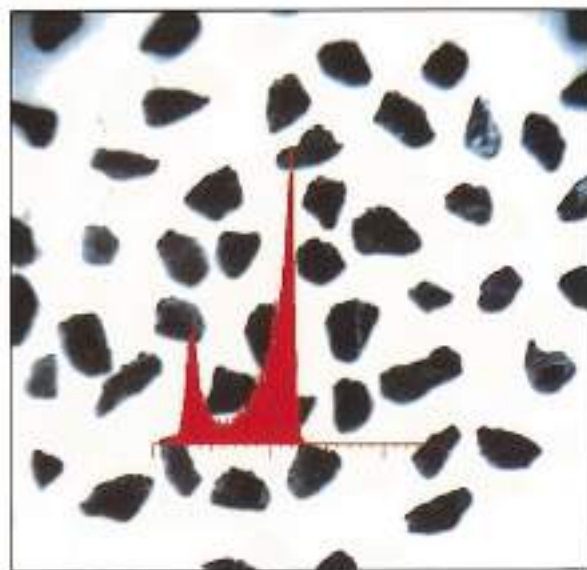
culas que tengan un área comprendida entre 1 y 500 pixel^2 . Fotografía 12.

4. Después de la obtención de la imagen binaria se identifican los objetos a medir (fotografía 13) y se definen los parámetros a cuantificar (tabla 3):

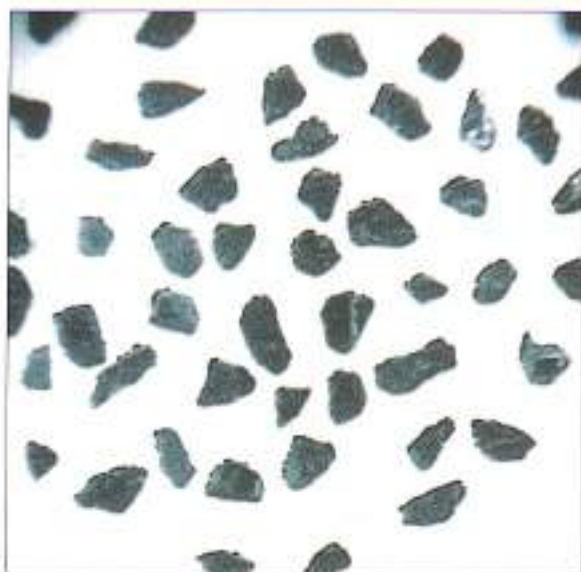
- Área.
- Perímetro.
- Formas circulares.
- Factor de elongación.
- Diámetro equivalente.
- Raíz del área.



FOTOGRAFIA 7.



FOTOGRAFIA 8.



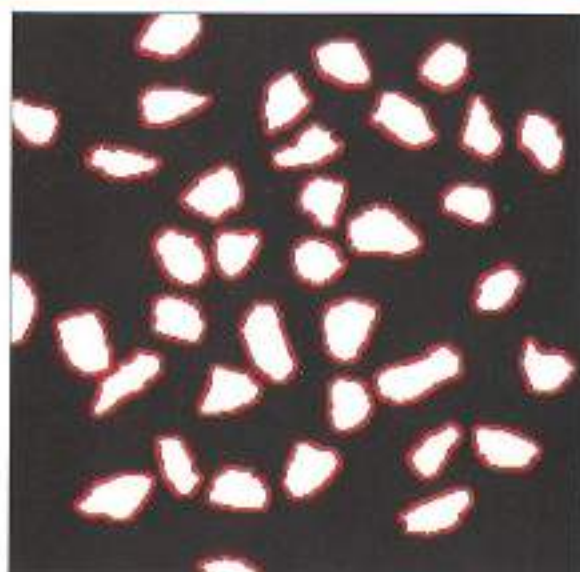
FOTOGRAFIA 9.

El procesador de imagen calcula, automáticamente, estos valores con un error del 0.4 %. Este error está inducido por los niveles de grises que se establecen arbitrariamente en el proceso de restauración y mejora de la imagen.

Las láminas bituminosas impermeabilizantes envejecen debido a la radiación solar y a la acción de otros agentes atmosféricos. La radiación ultravioleta, el calor y el oxígeno aceleran la oxidación fotoquímica del betún, causando su rápido envejecimiento. Los gránulos minerales empotrados en las láminas bituminosas, las



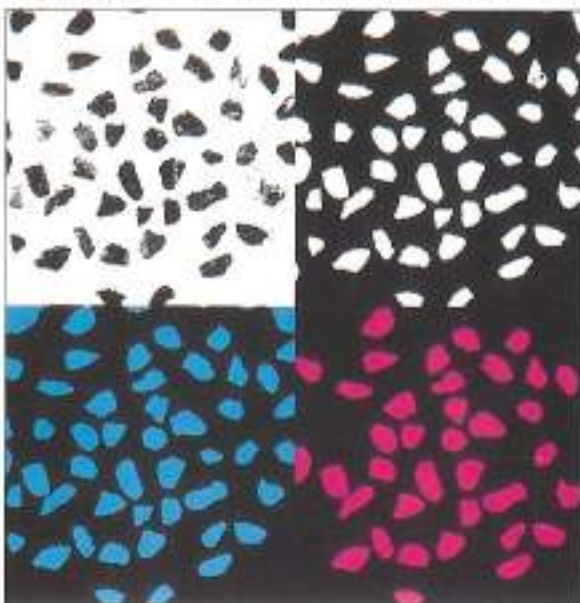
FOTOGRAFIA 10.



FOTOGRAFIA 11.

protegen y por consiguiente aumentan la durabilidad de las mismas.

La aplicación del análisis de imagen a los gránulos minerales componentes de las láminas bituminosas impermeabilizantes, tiene gran interés, ya que por una parte permite clasificar a los gránulos minerales relacionando parámetros (figura 7), de forma que se pueda caracterizar a cada lámina en particular y por otra parte se pueden estudiar disposiciones geométricas óptimas de forma que toda la superficie de la lámina quede com-



FOTOGRAFIA 12.

ESTRUCTURAS Y EDIFICACION

NUMERO	AREA	PERIMETRO	FORMAS CIRCULARES	FORMAS ELONGACION	DIAMETRO EQUIVALENTE	RAIZ AEREA
1	4,73	9,64	0,64	0,54	2,45	2,17
2	14,01	16,48	0,65	0,77	4,22	3,74
3	12,61	17,76	0,50	0,90	4,01	3,55
4	11,71	17,37	0,49	0,55	3,86	3,42
5	6,20	10,15	0,76	0,76	2,81	2,49
6	7,00	11,57	0,66	0,89	2,98	2,65
7	8,39	16,40	0,39	0,61	3,27	2,90
8	13,52	15,76	0,68	0,74	4,15	3,68
9	10,18	14,87	0,58	0,67	3,60	3,19
10	13,32	18,60	0,48	0,75	4,12	3,65
11	10,10	13,09	0,74	0,79	3,59	3,18
12	14,61	15,37	0,78	0,79	4,31	3,82
13	10,59	13,63	0,72	0,81	3,67	3,25
14	11,48	15,50	0,60	0,69	3,82	3,39
15	10,71	15,02	0,60	0,43	3,69	3,27
16	10,75	15,15	0,59	0,77	3,70	3,28
17	13,67	20,84	0,40	0,62	4,17	3,70
18	5,19	10,79	0,56	0,42	2,57	2,28
19	9,81	15,00	0,55	0,55	3,53	3,13
20	10,97	15,50	0,57	0,66	3,74	3,31
21	9,80	18,43	0,36	0,77	3,53	3,13
22	0,72	5,24	0,33	0,30	0,96	0,85
23	9,84	14,32	0,60	0,59	3,54	3,14
24	10,21	15,04	0,57	0,72	3,60	3,20
25	10,63	15,95	0,52	0,65	3,68	3,26
26	10,64	16,28	0,50	0,64	3,68	3,26
27	11,03	15,92	0,55	0,73	3,75	3,32
28	9,94	15,31	0,53	0,55	3,56	3,15
29	9,73	14,16	0,61	0,70	3,52	3,12
30	10,21	13,67	0,69	0,65	3,60	3,20
31	9,95	19,29	0,34	0,82	3,56	3,15
32	10,03	14,72	0,58	0,57	3,57	3,17

TABLA 3.



FOTOGRAFIA 13.

pletamente recubierta de gránulos minerales y así asegurar su total protección a la intemperie (5), (6).

CONCLUSIONES

- Los métodos de caracterización tradicionales permiten controlar la calidad de las láminas impermeabilizantes y garantizar al menos durante diez años su correcto funcionamiento.
- Mediante la espectroscopía de infrarrojo se puede conocer rápidamente el tipo de polímero o copolímero que ha sido empleado para la fabricación de los másticos componentes de las láminas impermeabilizantes.
- La microscopía de fluorescencia orienta sobre la homogeneidad de las mezclas betún-polímero, aunque por el momento no existen los datos suficientes para garantizar la calidad de una lámina de acuerdo con la homogeneidad del mástico observada directamente con esta técnica.
- El análisis digital de imagen permite controlar la calidad de los gránulos minerales empleados para la fabricación de las láminas y orientar sobre el óptimo tamaño y dosificación de los mismos, de modo que aumente la resistencia a la intemperie de las láminas.

BIBLIOGRAFIA

1. Jean Huet, 4.^o Eurobitume Symposium, 1989 (35-42).
2. Amador Gómez y col., Ingeniería Civil, N.º 76, 1990 (13-35).
3. Moschopedis, Speight, Fuel, Vol. 55, 1976 (334-336).
4. Anne Dony, Francoise Durrien, Bull Liaison Labo P et Ch, 168, 1990 (57-63).
5. O. Dutt, Durability of Building Materials, 3, 1986 (213-223).
6. O. Dutt, Journal of Testing and Evaluation JTEVA, 14, N.º 3, 1986 (163-167).



FIGURA 7. Cálculo de coeficientes de pizarras.