

Estudio de materiales de larga duración y pinturas convencionales sobre pavimentos de hormigón

por E. Moreno López
Presidente del TC/226/WG-2

1. Introducción

DEBIDO al auge que los pavimentos de hormigón están adquiriendo durante los últimos años, en nuestro país, es importante: por un lado, elegir el material adecuado y por otro, saber cómo varían sus propiedades más importantes con el fin de predecir sus comportamientos a la hora de redactar los pliegos de prescripciones técnicas correspondientes.

2. Objetivo

La meta fundamental de este trabajo es, a partir de unos materiales adecuados para la señalización horizontal sobre pavimentos de hormigón, estudiar la variación de las tres propiedades más importantes a exigir en las marcas viales:

1. Retrorreflexión (visibilidad nocturna).
2. Reflectancia (visibilidad diurna).
3. SRT (resistencia al deslizamiento).

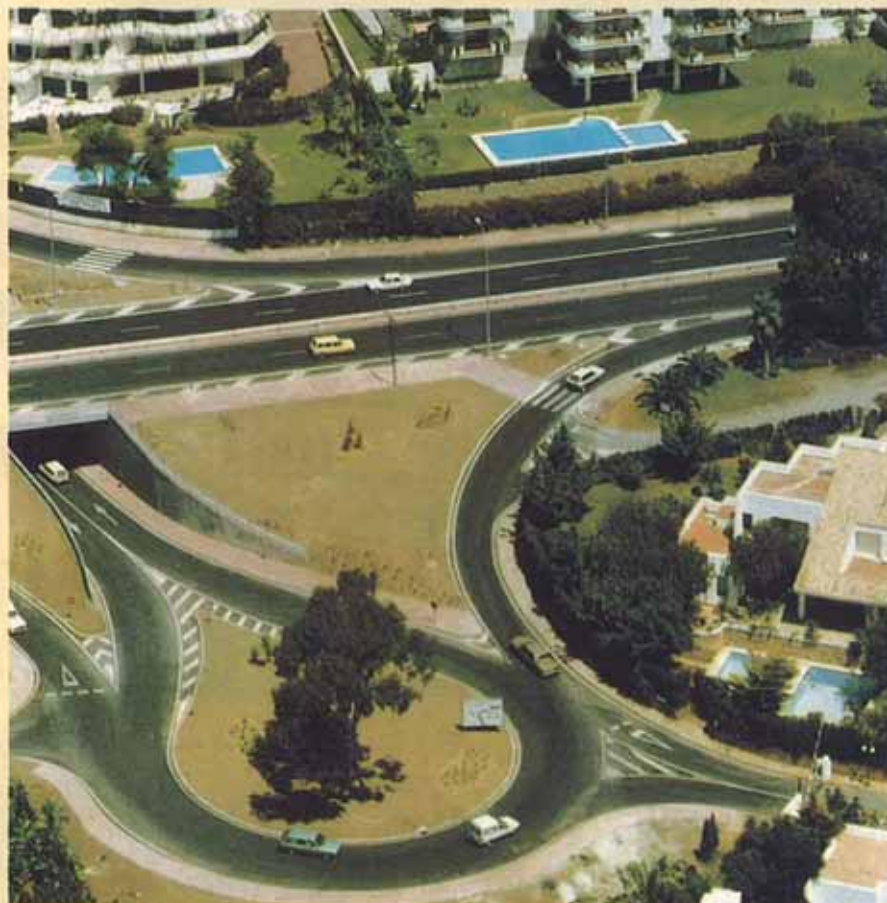
Al mismo tiempo, estas tres propiedades se analizan en función de los siguientes parámetros:

1. Factores de tráfico: IMD, Velocidad, geometría de la calzada.
2. Contenido en resina.
3. Contenido en pigmento (Dióxido de Titanio: TiO_2).
4. Espesor de película seca.

3. Materiales

Estos se estudian cuidadosamente, mediante ensayos previos y se escogen: uno de larga duración y otra a base de una resina ACRILICA TERMOPLASTICA para la pintura convencional.

El material de larga duración consiste en un polímero acrílico disuelto en monómeros acrílicos con flexibilidad adecuada para adaptarse a los movimientos cíclicos del pavimento; se estudia su formulación de tal forma que la adherencia del material al pavimento, sea superior a



la cohesión del mismo y del pavimento (en capa superficial).

Los materiales de pintura convencional se formulan con un ligante acrílico puro (en disolución) escogiéndose éste, previa selección de su T_0 (temperatura de cristalización) para conseguir un doble objetivo:

- Adaptación a los movimientos del sustrato.
- Poca tendencia al ensuciamiento.

De esta forma, una vez comprobado que las pinturas formuladas con este ligante daban una adherencia superior a la cohesión (en capa superficial) del pavimento, se formulan con ese ligante, tres materiales de distintos contenidos en Resina y Dióxido de Titanio (TiO_2) pero cambiando el resto de las cargas para obtener en todo ellos la misma concentración de pigmento en Volumen (CPV).

A los productos ensayados se les asignan las siguientes referencias:

T-1, T-2, T-3, para las pinturas convencionales monocomponentes de aplicación automática en frío. L.D., para el material de larga duración: plástico en frío de dos componentes de aplicación automática.

Por último, en la Tabla 1, aparecen reflejados los porcentajes de Resina y Dióxido de Titanio de los materiales ensayados. (Ver página siguiente).

4. Dosificación

Se escogen para las pinturas convencionales (T-1, T-2, T-3) unas dosificaciones en gr/m^2 que de acuerdo a sus C.P.V. proporcionen un espesor de película seca suficiente para retener las microesferas de vidrio añá-

didas por post mezclado y proporcionar una resistencia a la abrasión elevada.

Para el material de larga duración, al carecer éste de disolventes, su dosificación viene condicionada por el espesor mínimo necesario que hay que aplicar para garantizar el comportamiento óptimo del producto aplicado.

Las dosificaciones aplicadas para el ensayo, así como los espesores de película seca que se obtuvieron, aparecen reflejados en la Tabla 2.

5. Lugar de ensayo

En la Autovía de Andalucía en su tramo de LA GUARDIA, se pintan de cada material 4 rayas perpendiculares a la dirección del tráfico separándose a su vez, cada raya, en dos mitades: carril derecho (con bajas velocidades y gran tráfico) y carril izquierdo (velocidades más altas y menos tráfico).

De esta forma, la situación final que adquirieron las marcas de pintura y material de larga duración con respecto al tráfico en el campo de pruebas, permite extrapolar los resultados del ensayo a los que se obtendrían en las siguientes situaciones reales:

- IMD alto, velocidad baja y geometría de la calzada tal que todos los vehículos pisan la marca vial: CARRIL DERECHO EN EL ENSAYO.
- IMD medio o bajo, velocidad alta y geometría análoga a la situación a): CARRIL IZQUIERDO EN EL ENSAYO.

6. Método de ensayo

Periódicamente: Inicial, 1,5 meses, 3, 6, 12 y 15 meses, se han ido midiendo con los aparatos correspondientes y de acuerdo con las normativas actuales del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), las 3 propiedades que sirven de base a este trabajo.

6.1. Variación de la retrorreflexión según el contenido de resina

6.1.1. Carril derecho

Fijamos como valor mínimo a exigir 160 mcd/lux.m²

En primer lugar se observa cómo todas las pinturas convencionales parten de un valor muy alto que a continuación desciende durante los 45 primeros días para posteriormente

Tabla 1

	Material T-1	Material T-2	Material T-3
Contenido en resina % referido al total	12	14	18
Contenido en TiO ₂ % referido al total	16	12,5	16,5

Tabla 2

Tipo de Material	Dosificación de Pintura (gr/m ²)	Espesor de Película seca	Dosificación de Esferas de vidrio - Post-mezclado (gr/m ²)
T-1	900	300	600
T-2	900	325	615
T-3	915	300	600
L.D.	2.000	1 mm	650

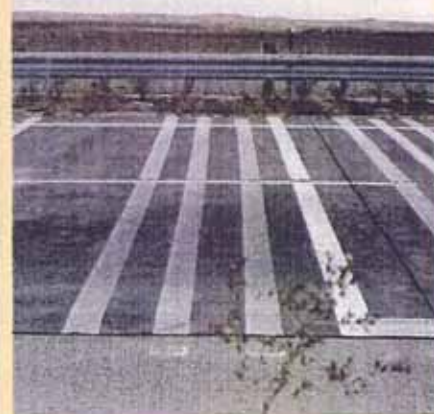
recuperarse durante los siguientes 45 días. Posteriormente inician un declive terminando en valores más

o menos bajos a los 15 meses de su aplicación.

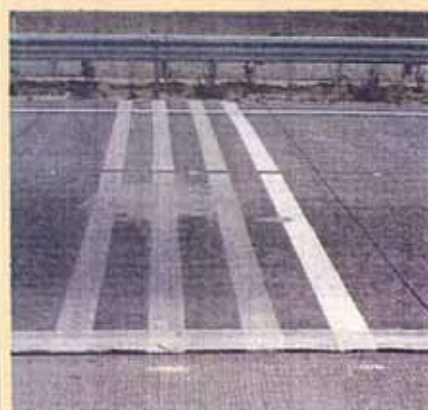
Así pues, se pueden distinguir, en zonas de ALTA EXPOSICIÓN AL ROZAMIENTO Y VELOCIDAD MEDIA DE LOS VEHICULOS BA-



Larga duración.



Material tipo T-1.



Material tipo T-2.



Material tipo T-3.

JA, las siguientes etapas en la variación de la retrorreflexión:

1ª etapa: Descenso de pronunciada pendiente durante el primer mes y medio. Este descenso es independiente del contenido en resina que tenga la pintura, tal y como se ve en la tabla 3. Este descenso es debido a la pérdida inicial que sufren las esferas de post-mezclado con granulometría mayor.

Tabla 3			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Variación de retrorreflexión	-180	-180	-180
(se mide en mcd/lux. m ²)			

2ª etapa: Durante el período de 1,5 a 3 meses, afloran las esferas más gruesas, perfectamente embutidas en la pintura que junto con las de menor tamaño que aún permanecen del paso anterior, dan un aumento de retrorreflexión. En esta etapa, aún es pronto para que el contenido en resina afecte de forma sustancial a la retención de esferas.

Tabla 4			
	T-1	T-2	T-3
Variación de la retrorreflexión	+12	+62	+48
mcd/lux. m ²			

3ª etapa: Del 3º al 6º mes, se manifiesta un descenso en la retrorreflexión y empieza a notarse el contenido en ligante (resina) que tienen las pinturas. Así cuando los contenidos son del 12% (T-1) la disminución de la retrorreflexión es el doble que en los otros materiales, donde prácticamente esta variación es la misma.

A los 6 meses, ya hay una diferencia entre 12 y 14% de resina, aunque entre 14 y 18% no se observa una clara diferencia.

Tabla 5			
	T-1	T-2	T-3
Variación de la retrorreflexión	-200	-108	-121
mcd/lux. m ²			

4ª etapa: Del sexto al duodécimo mes

Como puede deducirse de los valores de retrorreflexión obtenidos en esta etapa (ver anexo I), el valor

de la visibilidad nocturna continúa disminuyendo alcanzando un valor final claramente distinto según sea el contenido en resina de los materiales.

Así, al año, sólo pinturas convencionales con contenidos altos en resina: 18% (T-3) mantienen un valor alto de retrorreflexión sustancialmente superior al que alcanzan los materiales convencionales formulados con contenidos entre 12 y 14%.

En la Tabla 6 aparecen las variaciones de retrorreflexión y el valor final de la misma en los materiales ensayados, correspondientes a este período de tiempo.

Tabla 6			
	T-1	T-2	T-3
Variación	-169	-139	-113
Valor de retrorreflexión	163	135	234

En esta etapa, como la mayoría de las esferas de tamaño grande y medio han desaparecido y las más pequeñas han empezado a aflorar, el contenido en resina que tenga el material juega un papel decisivo en la retrorreflexión.

Dicha proporción de ligante en la fórmula influye en la visibilidad nocturna:

1. Amortigua la disminución de la retrorreflexión: "atrapando" mayor número de esferas durante más tiempo.
2. Mantiene un valor mínimo, por encima de los 160 mcd/lux. m², durante un período largo

5ª etapa: Intervalo comprendido entre los 12 y 15 meses desde la aplicación. La retrorreflexión varía mucho menos que en la etapa anterior, ya que las esferas más pequeñas aparecen más deprisa de lo que son arrancadas las más gruesas que, dependiendo del contenido en resina del material aún existen. A partir del decimoquinto mes, la diferencia del material T-3 con respecto a los otros dos, es clave, tal y como se pone de manifiesto en el valor final de la retrorreflexión.

Tabla 7: Variación de la retrorreflexión en la etapa nº 5.			
	T-1	T-2	T-3
Variación	-26	+10	-21
Retrorreflexión	137	145	213

Conclusión final

Para las marcas efectuadas en el carril derecho, que podemos extrapolar a zonas donde existe un gran desgaste con tráfico a baja velocidad, el contenido en resina es de gran importancia a partir del 6º mes, donde se van distanciando las diferencias en el valor de la retrorreflexión. Para estas condiciones de ensayo, al cabo de 1 año, sólo los materiales fabricados con porcentajes de resina superiores al 18% en peso de pintura, alcanzan holgadamente el valor de 160 mcd/lux. m² que especifica la normativa actual española.

Para el material de larga duración, analizado en comparación con las pinturas convencionales, se puede concluir que:

Partiendo de valores iniciales más bajos (unas 300 mcd/lux. m²) se comporta de forma semejante a la pintura convencional durante todas las etapas analizadas; no obstante, el hecho de poseer esferas de premezclado, hace que cuando la abrasión es grande (a partir de 1 año), el valor de la retrorreflexión mantenga un tono alto, debido a estas esferas de premezclado, superior a 2 de las 3 pinturas analizadas. No se han podido efectuar medidas posteriores de los 15 meses, al momento de elaborar este estudio, pero por el comportamiento observado, parece predecirse que el material de larga duración, mantendrá un tono medio superior durante más tiempo, al de las pinturas convencionales.

6.1.2. Carril izquierdo

Aquí, a diferencia del punto 1.1, el desgaste al que someten los vehículos a la marca vial, es menor debido a:

- la velocidad es más alta
 - el número de vehículos es menor.
- Como comportamiento general, podemos concluir que:

- a) El material de larga duración ensayado, mantiene un promedio de valores muy alto, experimentando (como en el caso del punto 6.1.1.) un descenso apreciable entre los 6 meses y 1 año, tiempo a partir del cual, afloran las esferas de premezclado y se recupera el tono inicial de la retrorreflexión.
- b) En las pinturas, se presenta un comportamiento muy semejante, con una disminución inicial durante los primeros 45 días, para aumentar posteriormente, hasta alcanzar el valor máximo a los 6 meses. A partir de ahí disminuyen

de forma más o menos progresiva. Hay que hacer notar, cómo en este caso el contenido en resina no tiene importancia, dando igual que el porcentaje sea del 12%, 14% ó 18%.

- c) Ambos materiales: larga duración y pintura convencional, se manifiestan de igual forma, aunque los valores globales de retrorreflexión sean superiores en las pinturas durante los primeros 15 meses.

En un análisis por etapas, podemos concluir (para las 3 pinturas convencionales):

1ª etapa: 45 primeros días. Se manifiesta un descenso en la retrorreflexión, ya que las esferas más gruesas y peor adheridas se están desprendiendo. El porcentaje de resina no influye en la disminución de retrorreflexión.

Tabla 8

	T-1	T-2	T-3
Variación de la retrorreflexión	-180	-180	-180

2ª etapa: A partir del mes y medio los tres materiales se recuperan, abarcando esta recuperación hasta los 6 meses. Esto es debido a que una vez eliminadas las esferas más gruesas en la 1ª etapa, afloran las siguientes en tamaño, que junto con las que permanecen de la etapa anterior, producen ese aumento en la retrorreflexión. Como puede verse en la Tabla 9, el contenido en resina no juega un papel importante.

Tabla 9

	T-1	T-2	T-3
Variación de la retrorreflexión mcd	+64	+108	+89

3ª etapa: A partir del valor máximo alcanzado en los 6 primeros meses, la retrorreflexión de los materiales comienza a disminuir a medida que desaparecen las microesferas más gruesas por la acción del tráfico, perdiendo toda capacidad de recuperarse. Es importante hacer constar que el contenido en resina, durante esta etapa: 15 meses, siguen sin jugar un papel decisivo (ver Tabla 10), donde la retrorreflexión mantiene un tono alto y las variaciones absolutas en la misma durante este período, es independiente del porcentaje de resina.

Tabla 10

	T-1	T-2	T-3
Variación de retrorreflexión	-219	-153	-143
Retrorreflexión final	365	275	366

6.1.3. Conclusiones definitivas

1. El contenido en resina de las pinturas convencionales, ACRILICAS TERMOPLASTICAS, analizadas en este trabajo, no afecta a la retrorreflexión de forma concluyente durante los primeros 15 meses de vida de la raya, sí y sólo sí la geometría, IMD y velocidad de los vehículos que pisan las marcas viales es extrapolable a la situación 6.1.2. del ensayo.

2. Para IMD altos y donde además la velocidad de los vehículos al pisar la raya es baja, el contenido en resina juega un papel importante, apareciendo a partir del 6º mes las diferencias de retrorreflexión.

3. Cuando las garantías a exigir al material en retrorreflexión, sean al cabo de 1 año: 160 mcd, es importante que de acuerdo con los tres factores de tráfico antes citados: IMD, velocidad media y geometría de la calzada, se escojan los materiales convencionales de acuerdo a unos contenidos mínimos de resina que pueden establecerse en:

- mínimo del 12% cuando estemos en carreteras donde las marcas viales se pisen poco, a velocidades altas y el IMP sea medio o bajo: carril izquierdo del ensayo.
- mínimo del 18% cuando estemos en el caso contrario: carril derecho del ensayo.

4. El proceso global de la variación de retrorreflexión para pinturas convencionales, se manifiesta, INDEPENDIENTEMENTE DEL CONTENIDO EN RESINA, siempre en **tres etapas**, alterándose el período de duración de cada una de ellas (acortándose o prolongándose) dependiendo de los 3 "factores de tráfico": IMD, VELOCIDAD, GEOMETRÍA;

- 1ª etapa:** Eliminación de las esferas más gruesas y consiguientemente pérdida de retrorreflexión. Duración fija de 45 días.

- 2ª etapa:** Incremento de retrorreflexión provocado por la aparición de las es-

feras más finas que junto con las que permanecen de la etapa anterior producen ese aumento. Duración variable de: 45 a 135 días, dependiendo del valor de los tres factores de tráfico".

- 3ª etapa:** Eliminación de las microesferas de vidrio en mayor o menor escala dependiendo de:

- Tres factores de tráfico. El comienzo, lógicamente, es función de la duración de la 2ª etapa.
- Contenido en resina.

5. En cuanto a la retrorreflexión, el material de larga duración se mantiene en un valor semejante al de la pintura convencional, aunque sus variaciones son más suaves que en éstas. Los tres factores de tráfico, influyen sobre él, de igual forma que en las pinturas convencionales. A partir del año y debido a las esferas de premezclado que contiene el material, es cuando aparecen las diferencias con respecto a las convencionales: la retrorreflexión aumenta a partir del año (por lo menos durante el décimosegundo y décimoquinto mes) en más o menos grado en vez de caer como ocurre en general con las pinturas.

Así pues, para estos materiales cabe esperar de forma global que:

- a) mismo comportamiento que las pinturas convencionales pero con valores de retrorreflexión más bajos, durante el primer año.
- b) a partir del primer año, mejoran y mantienen, durante más tiempo que las pinturas convencionales, la retrorreflexión.

6.2. Variación de la reflectancia (Y%) en función del porcentaje de Dióxido de Titanio (Rutilo) que tenga el material.

6.2.1. Introducción

Como se ha explicado al comienzo de este trabajo, se escogió la misma resina para formular las pinturas convencionales, evitando así que el color del material aplicado dependiese del grado de termoplasticidad de la resina empleada en cada caso. Eliminado el parámetro del tipo de resina, la blancura de la marca vial sólo dependería de:

- Los tres factores de tráfico: IMD, Velocidad, Geometría.
- El porcentaje de pigmento (TiO₂).
- La estación anual durante la cual se efectuó la medida: posibilidad de autolavado del material.

En este apartado, contestaremos a la pregunta de: Escogida una resina de adecuadas propiedades termoplásticas, ¿El color blanco del producto final CON MICROESFERAS DE VIDRIO, depende del porcentaje de TiO_2 ?

Es evidente que a priori la contestación no es tan simple como: "a más TiO_2 más blancura" ya que como veremos, en el color incluyen más: los tres factores de tráfico y la climatología que el porcentaje de TiO_2 .

Por último, dado que a la marca vial se le exige fundamentalmente: visibilidad nocturna y diurna, vamos a analizar la influencia que en estos materiales ensayados tiene la retro-reflexión sobre la reflectancia.

6.2.2. Resultados experimentales

Durante el período de duración del ensayo (15 meses) se fue midiendo la reflectancia (Y%) de los materiales aplicados. Los resultados obtenidos, aparecen tabulados en el Anexo I.

Representando gráficamente la reflectancia obtenida en función del tiempo (gráficas 3 y 4) (Ver páginas siguientes) se puede deducir que:

1. Para ambos carriles y en todos los materiales ensayados (L.D.; T-1; T-2; T-3), la reflectancia sigue un ciclo en su variación que podemos establecer cronológicamente en dos etapas:

1ª etapa) baja, hasta un valor mínimo.

2ª etapa) sube, hasta alcanzar un máximo que es inferior al valor inicial, manteniéndose a partir de ahí alrededor de ese valor dentro de un intervalo más o menos amplio.

2. En un análisis de estas dos etapas, concluiremos qué factores las condicionan:

1) **Contenido en Dióxido de Titanio:** Para poder analizar la influencia que el contenido en Dióxido de Titanio tiene en la visibilidad diurna de la marca vial, se tabulan los resultados de reflectancia obtenidos en los ensayos (Anexo-I) tal y como aparecen reflejados en las Tablas 11 y 12. Como puede observarse, se ha tabulado la variación de reflectancia por etapas para cada carril aplicado.

Para caso 1 (carril derecho): IMD altos, velocidad lenta, Geometría: todos los vehículos pisan la marca vial.

Tabla 11

	L.D.	T-1 (16%)	T-2 (12,5%)	T-3 (16,5%)
Valor inicial de reflectancia	50	64	60	65
Variación 1ª etapa	-20	-34	-37	-32
Variación 2ª etapa	+2	+6	+9	+4
Valor final	32	36	32	35

Para caso 2 (carril izquierdo): IMD medios y bajos, velocidad rápida, Geometría: la misma que en caso 1.

3. Aumentando o disminuyendo el valor inicial de la reflectancia. Así: a menores IMD, mayor ve-

Tabla 12

	L.D. (*)	T-1	T-2	T-3
Valor inicial de reflectancia	50	64	60	65
Variación 1ª etapa	-16	-26	-27	-26
Variación 2ª etapa	+3	+8	+10	+10
Valor final	33	38	36	44

(*) Estos valores han sido adaptados a la ley general que cumple el material.

Como puede deducirse de las dos tablas anteriores (11 y 12) y considerando al material bajo las condiciones de ensayo en campo, la cantidad de Dióxido de Titanio no juega un papel decisivo en la reflectancia. De este modo, elevados contenidos en TiO_2 no van a producir necesariamente mejores valores de reflectancia.

Contenidos superiores al 12%, en peso de pintura convencional son suficientes para asegurar un comportamiento casi semejante al contenido del 16%.

b) **Influencia de los tres factores de tráfico**

Comparando ambas Tablas (11 y 12), se observa que las condiciones del caso 2, con respecto al caso 1, suman dos factores: Menor IMD y Mayor velocidad de los vehículos, que conducen a un mejor resultado final: mayor blancura de la marca vial, como consecuencia de: un menor ensuciamiento y un mejor "lavado".

Se observa que los tres factores de tráfico, influyen:

1. Alterando la disminución inicial de la reflectancia.
2. Recuperando, tras un lavado, en mayor o menor grado, el color inicial.

locidad en los vehículos y geometría más rectilínea de las carreteras (menos se pisan las marcas viales), mejor conservación del color (Y%) en la señalización horizontal.

c) **Influencia de la climatología**

De las gráficas 3 y 4, (ver páginas siguientes) observamos que:

El comportamiento de todos los materiales es semejante, dándose también para el de larga duración, un cambio en reflectancia condicionado por la climatología:

1ª) Durante el Invierno, permanecen todas con un gran valor inicial del Y%, ya que la marca está limpia y los huecos dejados por las esferas, lavados.

2ª) Durante la primavera y verano baja la visibilidad diurna, ya que la suciedad queda atrapada entre las esferas de vidrio y en los huecos dejados por éstas; la escasez de lluvia hace que esa suciedad continúe y por lo tanto la Y% sea baja.

3ª) En Otoño e Invierno, la raya se lava, por lo que hay un aumento de reflectancia.

4ª) En Primavera... se vuelve a repetir el ciclo (paso 2ª).

A pesar de repetirse estos ciclos, es importante observar cómo los tres

factores de tráfico influyen de forma importante, en cada "estación", tal y como se ha concluido en el apartado b, de este punto.

Conclusión final al punto 6.2.

1. De los parámetros que influyen en el valor del color (reflectancia) de las pinturas convencionales y los materiales de larga duración, el más importante de todos ellos es: Factores de tráfico (IMD, velocidad, Geometría), a continuación: la estación anual y por último, el contenido en pigmento, TiO_2 .
2. Para factores de tráfico, caso 1, no se justifica el aumento de precio que se produce al incrementar el contenido en pigmento (TiO_2) desde valores de un 12% hasta un 16% referido al peso de pintura. En el caso 2, tampoco las diferencias existentes entre los valores finales de la reflectancia justifican el incremento tan grande que en el precio final del material se produciría al aumentar en un 4% absoluto.
3. En general el material de larga duración comparado con las pinturas convencionales, sigue la misma ley que las otras, aunque es más moderado en sus cambios y valores finales.

6.3. Relación entre la Retroreflexión y Reflectancia

De todos es sabido que las dos propiedades más importantes a exigir a los materiales empleados en la señalización horizontal son:

- Visibilidad diurna: medida a través de la reflectancia.
- Visibilidad nocturna: medida a través de la retroreflexión.

En este apartado vamos a intentar ver si hay alguna relación entre ambas propiedades y de qué tipo, con el fin de obtener un criterio que nos sirva para que a la hora de exigir unos valores mínimos a los materiales, disponer a priori de una idea acerca de las cifras en que nos movemos, sobre todo cuando queremos dar a ambas propiedades la misma importancia. Aquí no juzgaremos ni comentaremos las causas de las variaciones, ya que esto se ha hecho de forma exhaustiva en los apartados 1 y 2 del presente trabajo.

Para evitar la influencia de los tres factores de tráfico, vamos a tomar valores medios de reflectancia y retroreflexión, para cada material: T-1, T-2 y T-3, reflejándose los mismos en la Tabla 13.

Para interpretar dichos resultados, se representan los valores de la re-

Tabla 13

Larga duración		T-1		T-2		T-3	
Retro-reflexión	Reflec-tancia	Retro-reflexión	Reflec-tancia	Retro-reflexión	Reflec-tancia	Retro-reflexión	Reflec-tancia
310	50	700	64	500	60	600	65
320	45	520	48	320	45	420	56
346	34	532	38	382	33	468	39
333	23	458	39	351	33	428	41
230	33	269	35	212	33	303	42
242	33	251	37	210	34	289	39

fectancia en función de la retroreflexión tomando todos los materiales por separado y comparándolos con el de larga duración, ya que los contenidos en resina son diferentes en cada caso (Gráfica-5).

Conclusiones a la gráfica-5:

1. El material de larga duración, no cierra un ciclo de histéresis, tal y como cabría esperar a priori; esto es debido, a que los materiales, a pesar de autolimpiarse, no llegan a alcanzar el valor inicial de reflectancia. Por el contrario, se ve que a medida que la retroreflexión baja (es decir: se van perdiendo esferas y aumentando el número de huecos a ser rellenados por suciedad) la reflectancia lo hace también elevando posteriormente su valor cuando se limpia la raya, pero sin llegar a alcanzar el inicial; es decir, no llega a definir un ciclo de histéresis en la variación de su reflectancia en función de la retroreflexión.

Cuantitativamente, a una variación de la retroreflexión de 80 mcd, le ha correspondido una disminución de 17 unidades en el valor de la reflectancia, hasta que ésta se ha estabilizado (altura h_{LD}) en el material de Larga Duración.

2. En el material T-1, hay la misma tendencia que en el caso anterior, pero es evidente que no se puede cerrar el ciclo al no recuperarse hasta el valor inicial. Aquí la variación de retroreflexión es de: 449 mcd y le corresponde una disminución de reflectancia de: 29 unidades. (Valor inicial 700 mcd).
3. En el T-2, se observa lo mismo que en los casos anteriores; tendencia a recuperarse pero se queda en un valor más bajo del inicial. Aquí a: 290 mcd, le corresponde una variación en la reflectancia de: 27 unidades. (Valor inicial 500 mcd).
4. En el T-3, igual que en los casos anteriores, no se completa el ciclo. Aquí a una variación de 311 mcd/lux. m^2 , le corresponde una disminución de 26 unidades en la

reflectancia. (Valor inicial: 600 mcd/lux. m^2).

5. Teóricamente, aunque el contenido en resina no afecta de forma directa al color de la marca vial, sí afecta a la retención de esferas y por lo tanto, al color. Esta hipótesis inicial no es cierta de una forma taxativa. De la gráfica 5, podemos concluir que todos los materiales ensayados: pintura convencional y larga duración, tienen una variación similar de reflectancia en función de la retroreflexión: tienden a cerrar un ciclo de histéresis que no se alcanza a conseguir, ya que aunque hay una recuperación en la reflectancia, nunca se alcanza el valor inicial aunque sí uno final estable.
6. Independientemente del valor inicial de retroreflexión, las pinturas convencionales parten todas ellas de un valor inicial más o menos semejante (65 ± 5)% y terminan en un valor final estabilizado que también es semejante (36 ± 3)%. Así pues, valores iniciales de retroreflexión muy altos sólo conducen a variaciones más bruscas de reflectancia, ya que en cualquier caso, el valor final de ésta será el mismo e independiente de la retroreflexión inicial. (Tabla 14). (Ver página siguiente).
7. De la Tabla 14, podemos concluir que, para:
 - a) Materiales de larga duración: el valor inicial de 300 mcd es más que suficiente para garantizar una reflectancia final aceptable.
 - b) En pinturas convencionales: Es absurdo partir de altas retroreflexiones, ya que sólo se consiguen con ello, variaciones bruscas de reflectancia, para alcanzar el mismo valor final independientemente de la retroreflexión de partida.

6.4. Variación de la resistencia al deslizamiento en función del contenido en resina de los materiales

En este apartado, vamos a ver cómo varía el coeficiente SRT, transformado a condiciones estandar, en

Tabla 14

Material	Valor inicial mcd/lux. m ²	Variación de retrorreflexión mcd/lux m ²	Disminución de reflectancia (Y%)	Valor final reflectancia (Y%)
P. Convencional	700	-449	29	35
P. Convencional	600	-311	26	39
P. Convencional	500	-290	27	33
Larga Duración	310	-80	17	33

función del contenido en resina y comparándolo con los materiales de larga duración.

Las conclusiones que se han obtenido de la Gráfica 6, son:

1. Para homogeneizar las conclusiones, partimos en todos los casos de los mismos 3 factores de tráfico:

IMD: alto

Velocidad: media o baja.

Geometría: todos los coches pisan las rayas.

2. El valor del coeficiente SRT del pavimento, se mantuvo siempre en: 60±5.

3. Para el material de larga duración, al no usar cargas antideslizantes y como el espesor de película seca es alto (1,5 mm), el valor del coeficiente SRT depende de la rugosidad que alcance la superficie al añadirle las esferas de postmezclado. Como se ve este valor es bajo y nunca alcanza el 45 mínimo requerido.

La variación que experimenta el coeficiente SRT, tiene altibajos como se puede deducir de la Gráfica 6: disminuye durante los primeros 90 días para aumentar posteriormente. Así pues, se demuestra, que son necesarias las cargas antideslizantes cuando aplicamos espesores superiores o iguales a 1,5 mm.

4. Las pinturas convencionales, varían todas de la misma forma, siendo el valor del coeficiente SRT independiente del contenido en resina, al menos, durante los 15 primeros meses de vida de la raya, donde el desgaste aún no ha jugado un valor decisivo.

5. La ley que siguen las pinturas convencionales es la misma, independientemente del contenido en resina. Esto es debido a dos factores:

- a) El espesor de película seca (unas 300 µm) no es suficiente como para que la rueda de los coches al pisar la marca vial, vean alterada la resistencia al deslizamiento del pavimento. Así pues, sin el empleo de cargas antideslizantes, el coeficiente

SRT tiene valores aceptables en la mayoría de los casos.

- b) Durante los primeros 15 meses, el desgaste es semejante e independiente del contenido en resina del material.

6. Así pues, en pinturas convencionales, sólo cuando la superficie a pintar sea grande (flechas, símbolos...) es interesante añadir cargas antideslizantes para aumentar la resistencia al deslizamiento de la marca vial.

7. La variación del coeficiente SRT en pinturas convencionales, se puede resumir en las siguientes etapas:

1ª etapa: disminución muy suave durante los primeros 180 días, alcanzando un valor más o menos bajo, alrededor de 45.

2ª etapa: aumento del coeficiente SRT durante el 6º y 12º mes.

3ª etapa: disminución que puede ser definitiva, a partir del año, en el valor del coeficiente SRT.

La explicación hay que buscarla en la variación que sufre la textura superficial de la marca vial; dicha variación es periódica y, en el caso de nuestro trabajo, demuestra que:

- Durante los 6 primeros meses, lo que se produce es un "lijado lento" de la superficie, lo que implica que el coeficiente SRT disminuya.

- Durante los 6 meses siguientes, ese "lijado" es ya casi una abrasión, por lo que afloran a la superficie: esferas nuevas

de vidrio, aglomerados de cargas..., produciendo un aumento en el valor del coeficiente SRT.

- A partir del año, ya no hay más fenómeno que el "pulido", de lo que provocó el aumento del coeficiente SRT en la etapa anterior. Se produce así, la disminución irreversible del coeficiente SRT.

8. El valor mínimo que adquiere el coeficiente SRT es independiente, al cabo de 15 meses, del contenido en resina que tenga el material (Tabla 15).

Tabla 15

Contenido en resina	Coeficiente SRT
12%	42
14%	44
18%	43

Observaciones y comentarios

Es importante hacer constar las siguientes puntualizaciones:

1. Los datos para la elaboración de este trabajo, han sido tomados periódicamente durante los primeros 15 meses, desde la aplicación de los materiales, por lo que las conclusiones son definitivas hasta esa fecha y extrapolaciones a partir de ahí.
2. El pavimento sobre el que se realizó la experiencia, es de hormigón y aunque los materiales ensayados son perfectamente aplicables en pavimentos flexibles, las conclusiones que podemos deducir, a partir de este trabajo, para dichos pavimentos sólo tienen valor cualitativo y no cuantitativo.

Anexo Datos Experimentales

	LARGA DURA ▽		T-1 ○		T-3 X		T-2 □	
	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA
TIEMPO								
INICIAL	310	310	700	700	600	600	500	500
45 DIAS	320	320	520	520	420	420	320	320
90 DIAS	346	346	532	532	468	468	382	382
180 DIAS	419	248	584	332	509	347	428	274
360 DIAS	272	189	376	163	373	234	289	135
450 DIAS	300	185	365	137	366	213	275	145

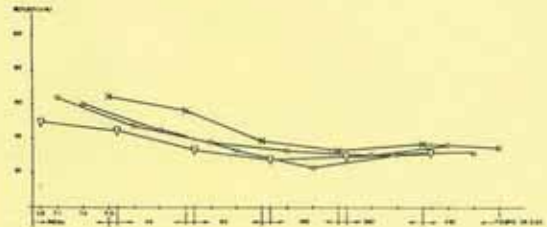
TABLA III: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CON EL TIEMPO. ENSAYO DE: RETRORREFLEXION

ANEXO I Datos experimentales

	LARGA DURA ▽		T-1 ○		T-3 X		T-2 □	
TIEMPO	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA
INICIAL	50	50	64	64	65	65	60	60
45 DIAS	45	45	48	48	56	56	45	45
90 DIAS	34	34	38	38	39	39	33	33
180 DIAS	44	28	46	33	49	33	43	23
360 DIAS	37	30	41	30	47	37	35	31
450 DIAS	33	32	38	36	44	35	36	32

TABLA IV: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CON EL TIEMPO. ENSAYO DE: REFLECTANCIA (Y%)

VARIACION DE LA REFLECTANCIA, SEGUN EL CONTENIDO EN T-O/CARRIL DECHO/CON MICROSF.

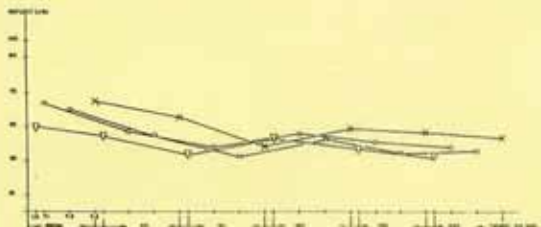


GRAFICA-3

	LARGA DURA ▽		T-1 ○		T-3 X		T-2 □	
TIEMPO	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA	IZDA	DCHA
INICIAL		43		49		47		51
45 DIAS		40		48		47		48
90 DIAS		35		47		45		47
180 DIAS		36		45		43		45
360 DIAS		39		48		47		48
450 DIAS		41		42		43		44

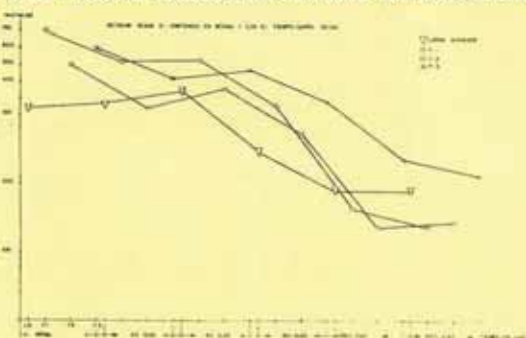
TABLA V: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CON EL TIEMPO. ENSAYO DE: RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (SRT)

VARIACION DE LA REFLECTANCIA, SEGUN EL CONTENIDO EN T-O/CARRIL IZQDO/CON MICROSF.



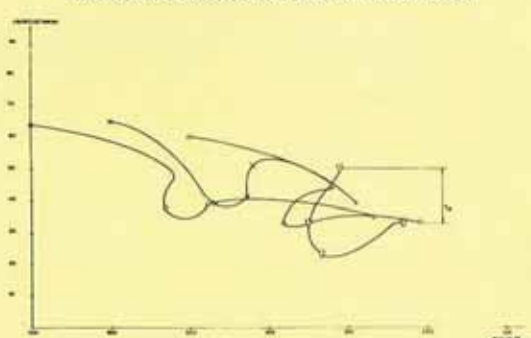
GRAFICA-4

RETRORR. SEGUN EL CONTENIDO EN RESINA Y CON EL TIEMPO/CARRIL DECHO



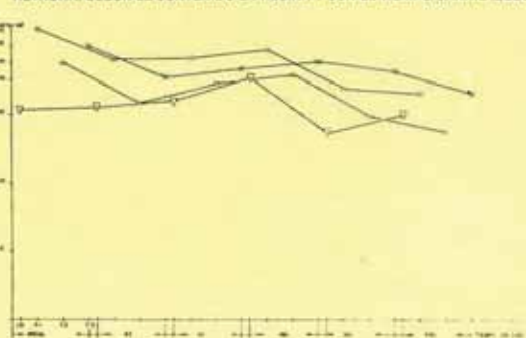
GRAFICA-1

VARIACION DE LA REFLECTANCIA CON LA RETRORREFLEXION



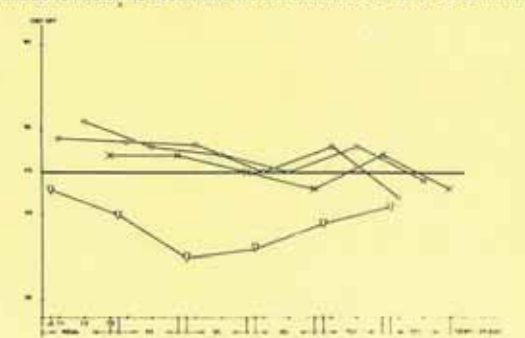
GRAFICA-5

RETRORR. SEGUN EL CONTENIDO EN RESINA Y CON EL TIEMPO/CARRIL IZQDO



GRAFICA-2

CARRIL DECHO/RESIST. AL DESLIZAMIENTO EN FUNCION DE LA ANTIG. DE LA MARCA VIAL



GRAFICA-6