serie monografías

Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA

SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

serie monografías

Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
SECRETARÍA DE ESTADO DE INFRAESTRUCTURAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

2012

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
http://publicacionesoficiales.boe.es

Tienda virtual de publicaciones del Ministerio de Fomento:
www.fomento.es

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento©

Depósito Legal: M-41066-2012
ISBN: 978-84-498-0926-2
NIPO Papel: 161-12-148-9
NIPO Línea: 161-12-149-4

ÍNDICE

1. Introducción 7

1.1. Definición y clases de las marcas viales 7
1.2. Objeto y campo de aplicación 7

2. Conceptos generales aplicados a las marcas viales 9

2.1. Caracterización atendiendo a los materiales 9
2.1.1. Marcas viales construidas «in situ» 10
2.1.2. Marcas viales prefabricadas 11
2.2. Caracterización atendiendo a las necesidades de los usuarios 12
2.2.1. Diseño 12
2.2.2. Distancia de visibilidad 12
2.2.3. Resistencia al deslizamiento 13
2.3. Características esenciales de una marca vial. Nociones y métodos de medida 13
2.3.1. Visibilidad diurna 13
2.3.1.1. Factor de luminancia β (en un punto sobre la superficie de un cuerpo no radiante): 14
2.3.1.2. Coeficiente de luminancia en iluminación difusa Qd: 15
2.3.1.3. Luminancia L y medida 15
2.3.2. Visibilidad nocturna 19
2.3.2.1. Retrorreflexión 20
2.3.2.1.1. Factores fundamentales de influencia 21
2.3.2.1.2. Otros factores de influencia en la visibilidad nocturna 22
2.3.2.1.3. Retrorreflexión con pavimento mojado 24
2.3.2.1.4. Medida del coeficiente de luminancia retrorreflejada (Retrorreflexión) 24
2.3.3. Resistencia al deslizamiento 26
2.3.3.1 Medida de la resistencia al deslizamiento 27
2.3.4. Durabilidad 28
2.3.4.1. Medida de la durabilidad 28
2.4. Aspectos generales y de identificación de los materiales 31
2.4.1. Aspectos generales 31
2.4.1.1. Aspectos relativos a la compatibilidad con el pavimento 31
2.4.1.2. Aspectos relativos para la adecuación a las condiciones climáticas 32
2.4.2. Ensayos de identificación 32
2.5. Caracterización de la marca vial 32

3. Marcas viales 35

3.1. Prestaciones 35
3.1.1. Vida útil. Marcas viales permanentes y temporales 35
3.1.2. Visibilidad diurna: blancas y amarillas 35
3.1.3. Visibilidad nocturna. Retrorreflexión en seco, húmedo y bajo lluvia 35
3.1.3.1. Captafaros 37
3.1.3.2. Microesferas de vidrio gruesas 37
3.1.3.3. Elementos ópticos de alto índice de refracción 37
3.1.3.4. Marcas viales estructuradas (con resaltes) 38
3.1.4. Marcas viales especiales. 39
3.1.4.1. Con efectos acústicos y mecánicos (sonoras) 39

3.1.4.2. De rebordeo negro ... 41
3.1.4.3. De enmascaramiento ... 42
3.1.5. Clasificación e identificación de las marcas viales por su función ... 42
3.2. Requisitos de la marca vial (sistema) a utilizar (Uso asignado a una marca vial en base a sus prestaciones) ... 43
3.2.1. Requisito de clase (y tipo) del sistema a utilizar ... 44
3.2.2. Requisitos esenciales del sistema a utilizar ... 44
3.2.3. Requisito de durabilidad (y rugosidad) del sistema a utilizar ... 44
3.2.4. Requisitos de los aspectos generales del sistema a utilizar ... 44
3.2.4.1. Relativos a la naturaleza del pavimento ... 44
3.2.4.2. Relativos a las condiciones climáticas ... 44
3.2.5. Expresión del uso asignado a una marca vial (requisitos del sistema a utilizar) ... 45
3.3. Requisitos de la marca vial en uso. Definición de nivel de servicio ... 45
3.3.1. Requisitos de comportamiento y parámetros de medida ... 45
3.3.2. Clases técnicas de comportamiento para los diferentes parámetros ... 46
3.3.3. Expresión del nivel de servicio ... 48

4. Materiales: tipos, criterios de selección, requisitos y acreditaciones ... 49

4.1. Tipos ... 49
4.1.1. Pinturas ... 49
4.1.1.1. Pinturas de secado físico ... 50
4.1.1.2. Pinturas de secado físico-químico ... 50
4.1.2. Termoplásticos ... 52
4.1.2.1. Termoplásticos aplicables por pulverización (Sprayplásticos) ... 52
4.1.2.2. Termoplásticos aplicables por extrusión ... 53
4.1.3. Plásticos en frío ... 53
4.1.3.1. Plásticos en frío de aplicación manual ... 54
4.1.3.2. Plásticos en frío de aplicación a máquina ... 54
4.1.4. Cintas y marcas viales prefabricadas ... 54
4.1.5. Materiales de post-mezclado ... 55
4.1.5.1. Microesferas de vidrio ... 55
4.1.5.2. Áridos antideslizantes ... 56
4.1.6. Imprimaciones ... 57
4.1.7. Recomendaciones de uso de los distintos materiales ... 57
4.2. Criterios de selección (durabilidad y compatibilidad) ... 58
4.2.1. Factor de desgaste. Determinación del nivel de durabilidad ... 58
4.2.2. Compatibilidad. Determinación de la naturaleza del material ... 60
4.3. Requisitos de los materiales y acreditaciones ... 63

5. Aplicación ... 67

5.1. Operaciones previas ... 67
5.1.1. Presencia de humedad en el pavimento ... 67
5.1.2. Eliminación de marcas viales ... 69
5.1.3. Premarcaje y replanteo ... 69
5.1.4. Limpieza ... 69
5.1.5. Preparación de la superficie: imprimación ... 69
5.1.6. Condiciones ambientales ... 70
5.1.7. Temperatura de aplicación ... 70
5.1.8. Comprobación de la macrotextura del sustrato ... 70
5.1.9. Acopios de materiales ... 70
5.2. Ejecución ... 70
5.2.1. Máquinas y equipos de aplicación ... 70
5.2.2. Ajuste en obra de la máquina ... 71
5.2.3. Controles durante la aplicación ... 74
5.2.3.1. Dosificaciones ... 74
5.2.3.2. Homogeneidad transversal ... 75
5.2.3.3. Grado de hundimiento ... 75
5.2.3.4. Aspecto de las visibilidades diurna y nocturna ... 75
5.2.4. Ejemplos de defectos susceptibles de poder producirse durante la aplicación de pintura ... 76
5.2.5. Ejemplos de defectos susceptibles de poder producirse durante la aplicación de las microesferas de vidrio ... 77
5.2.6. Ejemplos de defectos susceptibles de poder producirse durante la aplicación de termoplásticos ... 77

5.3. Control de la unidad terminada 78
5.3.1. Controles de aceptación y rechazo 78

6. Maquinaria de aplicación 83

6.1. Pinturas en frío 83
6.2. Termoplásticos 88
6.3. Plásticos en frío 89
6.4. Materiales de post-mezclado, microesferas de vidrio 90
6.4.1. Distribución por gravedad 91
6.4.2. Distribuidor por depresión 91
6.4.3. Distribución por presión 92
6.4.4. Distribución por inyección 92

7. Sistema de gestión del mantenimiento de la señalización horizontal 95

8. Terminología (Definiciones) 99

9. Instrucciones, normas y disposiciones aplicables 101

ANEXO 1. **Sistemas recomendados para cada combinación durabilidad/rugosidad** 103

ANEXO 2. Control del proceso de aplicación 107

INTRODUCCIÓN 1

1.1. DEFINICIÓN Y CLASES DE LAS MARCAS VIALES

Una marca vial constituye una guía óptica, reflectorizada o no, situada sobre la superficie de la calzada, formando líneas o signos, con fines informativos y reguladores del tráfico.

Pueden clasificarse en función de sus prestaciones respecto de:

- La vida útil en: permanentes y temporales.
- La visibilidad diurna en: blancas y amarillas.
- La visibilidad nocturna en:
  - Tipo 0: No retrorreflectantes.
  - Tipo I: Retrorreflectantes en seco.
  - Tipo II: Retrorreflectantes en seco y en húmedo o con lluvia.
- La resistencia al deslizamiento: estructuradas o no estructuradas. Las normas UNE 135200; UNE EN 1436 y UNE EN 1871, definen las marcas viales estructuradas y no estructuradas con el único fin de que puedan ser objeto de medida de resistencia al deslizamiento o no.
- Otros usos especiales en: sonoras, de fácil eliminación, de rebordeo, enmascaradoras.

Una misma marca vial puede combinar varias prestaciones.

1.2. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este documento proporciona una guía para las principales cuestiones a considerar durante la planificación, ejecución y mantenimiento de obras de señalización horizontal de la red de carreteras del Estado. El documento proporciona criterios para definir:

Durante la fase de planificación:

- los requisitos de las marcas viales asociadas a cada uso.
- los requisitos de los materiales constituyentes de dichas marcas.

Durante la fase de aplicación:

- los equipos de maquinaria.
- las operaciones previas a la aplicación.
- las condiciones y controles con las que se lleva a cabo la aplicación.
- la trazabilidad de los trabajos.

Durante la fase de mantenimiento:

- la determinación de las necesidades de señalización horizontal.
- los controles de la unidad terminada para determinar las necesidades de repintado.
- la creación de base de datos.

No es objeto de este documento la geometría ni el diseño de las marcas viales que corresponden a la Norma 8.2-IC de la Instrucción de Carreteras.

Tampoco es objeto de este documento fijar especificaciones sobre la redacción de proyectos y ejecución de obras de señalización horizontal, que corresponden al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (PG-3) artículo 700 Marcas viales. En el momento de la redacción de esta guía el artículo al que se hace referencia es la Orden Ministerial 28 de diciembre de 1999 BOE 28.01.2000 que se completa con la Nota de servicio 2/07, de 15 de febrero de 2007, sobre los criterios de aplicación y de mantenimiento de las características de la señalización horizontal.

CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A LAS MARCAS VIALES

2

2.1. CARACTERIZACIÓN ATENDIENDO A LOS MATERIALES

Las marcas viales se pueden construir in situ mediante la aplicación directa sobre la calzada de un **sistema de señalización vial horizontal** constituido por un material base y materiales de post-mezclado junto a las correspondientes instrucciones y proporciones de aplicación.

- Los sistemas de señalización vial horizontal tienen definidas sus características esenciales en la norma UNE 135200 y se acreditan mediante el Marcado CE. La norma UNE 135200 recoge las clases aplicables de las normas UNE EN 1871; UNE EN 1790; UNE EN 1423 y UNE EN 12802. Existe marcado CE para pinturas, termoplásticos y plásticos en frío amparados en el «CUAP 01.06/08 Productos de señalización vial horizontal» y las normas armonizadas se encuentran en fase de voto formal para su aprobación Las características esenciales de los sistemas son la visibilidad diurna, la visibilidad nocturna, la resistencia al deslizamiento y la durabilidad de cada uno de ellos.

- Los materiales base (pinturas, termoplásticos y los plásticos en frío, con o sin microesferas de vidrio de premezclado) tienen definidos sus requisitos en la norma UNE 135200 y se acreditan mediante los ensayos correspondientes. De las propiedades de los materiales base dependen los aspectos generales de comportamiento como son su compatibilidad con el sustrato (pavimento o marca vial existente) y con las condiciones climáticas (resistencia al sangrado y a los álcalis, resistencia a la radiación UV y punto de reblandecimiento).

- Los materiales de post-mezclado (microesferas de vidrio, áridos antideslizantes y mezclas de los dos) tienen definidos sus requisitos en la norma UNE 135200 y se acreditan mediante el Marcado CE. En el momento de la redacción de esta Guía, el Marcado CE es obligatorio para los productos de post-mezclado desde mayo de 2005. Resolución de 28 de junio de 2004 de la Dirección General de Desarrollo Industrial BOE 16 de julio de 2004. De las propiedades de las microesferas de vidrio depende la retrorreflexión de las marcas viales. El papel de los áridos antideslizantes es aportar o regenerar, cuando sea necesario, las propiedades antideslizantes de la superficie de las marcas viales.

- Las instrucciones de aplicación pueden incluir la creación de una estructura que puede aportar propiedades especiales de visibilidad en condiciones de humedad o de lluvia (marcas tipo II) y efectos sonoros y mecánicos (vibraciones).

Las marcas viales también se pueden construir mediante la colocación de marcas viales prefabricadas siguiendo sus correspondientes instrucciones de aplicación.

Las **marcas viales prefabricadas** (se dividen en dos familias en función de si sus características cambian significativamente o no durante el proceso de aplicación) tienen definidos sus requisitos en la norma UNE 135200 y se acreditan mediante el Marcado CE.

La primera parte de este capítulo, se ocupa de caracterizar la marca vial desde el punto de vista de los materiales que la componen, incorporando, a este fin, los conceptos de material base y sistema (según definiciones de la norma UNE EN 1871).

2.1.1. Marcas viales construidas «in situ»

La construcción de la marca vial se realiza «in situ» aplicando sobre el sustrato el material base siguiendo estrictamente las instrucciones de aplicación que ampara el sistema acreditado. Se pueden utilizar como material base pinturas, termoplásticos o plásticos en frío.

Todo sistema de señalización vial horizontal debe contar con la declaración del fabricante donde debe figurar la siguiente información:

1. Naturaleza, identificación, proporción (g/m²) e instrucciones de aplicación del material base

2. Naturaleza, identificación, proporción (g/m² ó % sobre material base) e instrucciones de aplicación de las microesferas de vidrio de premezclado que no formen parte de la fórmula.

3. Naturaleza identificación, proporción (g/m²) e instrucciones de aplicación de las microesferas de vidrio de post-mezclado.

Las tablas 2.1.1.A y 2.1.1.B muestran dos modelos de caracterización de dos sistemas para un mismo material base, de acuerdo con lo especificado en el anexo ZA (parte armonizada de obligado cumplimiento) de la norma UNE EN 1871.

TABLA 2.1.1A. **MODELO DE PRESENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA UN MATERIAL DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL: TERMO AX- SISTEMA 1**

MATERIAL BASE DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (IDENTIFICACIÓN)	INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN			
NOMBRE COMERCIAL TERMO AX NATURALEZA: TERMOPLÁSTICO COLOR: BLANCO FABRICANTE (S) TERMO, S.A. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS VER DECLARACIÓN DEL FABRICANTE CONTENIDO EN SUSTANCIAS PELIGROSAS: VER DECLARACIÓN DEL FABRICANTE. MARCADO CE Nº: XXXXXX-SISTEMA 1	Aplicado por extrusión con microesferas de vidrio premezcladas y materiales de post-mezclado		Dosificaciones	
	Pre-mezclado	Nombre comercial GB-A	Material base de señalización horizontal	Materiales de post-mezclado
	Post-mezclado	Nombre comercial GB-B Marcado CE nº: 1234-CPD-0321	5.000 g/m² o 2 500µm	500 g/m²

TABLA 2.1.1B. **MODELO DE PRESENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA UN MATERIAL DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL: TERMO AX- SISTEMA 3**

MATERIAL BASE DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (IDENTIFICACIÓN)	INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN			
NOMBRE COMERCIAL TERMO AX NATURALEZA: TERMOPLÁSTICO COLOR: BLANCO FABRICANTE (S) TERMO S.A. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS VER DECLARACIÓN DEL FABRICANTE CONTENIDO EN SUSTANCIAS PELIGROSAS: VER DECLARACIÓN DEL FABRICANTE MARCADO CE Nº XXXXXX – SISTEMA 3	Aplicado por pulverización con microesferas de vidrio premezcladas y materiales de post-mezclado		Dosificaciones	
	Pre-mezclado	Nombre comercial Microesfera GB-	Material base de señalización horizontal	Materiales de post-mezclado
	Post-mezclado	Nombre comercial Microesfera GB-B Marcado CE nº: 1234-CPD-0321	3 000 g/m² o 1 500µm	400 g/m²

Cualquier cambio en la composición y/o proporciones debe entenderse, en general, como un nuevo sistema.

2.1.2. MARCAS VIALES PREFABRICADAS

Estas marcas viales también requieren unas instrucciones de aplicación que pueden incluir materiales de post-mezclado, pero son marcas viales terminadas o semi-terminadas por lo que no tienen la consideración de construcción «in situ».

Estas marcas utilizan como material base productos pertenecientes a una de las dos siguientes familias definidas en la norma UNE EN 1790:

Familia 1: marcas viales que se suministran completamente terminadas y que no cambian sus propiedades significativamente durante su aplicación (es decir, no requieren materiales de post-mezclado). Básicamente son las que se conocen como cintas.

Familia 2: marcas viales que se suministran semi-terminadas y que requieren la adición de materiales de post-mezclado.

La construcción de la marca vial se realiza aplicando sobre el sustrato el material base siguiendo las instrucciones de aplicación que ampara el sistema acreditado.

Las tablas 2.1.2.A y 2.1.2.B muestran dos modelos de caracterización para una marca vial prefabricada de la familia 1 y de una marca vial prefabricada de la familia 2 de acuerdo con lo especificado en el anexo ZA de la norma UNE EN 1790.

TABLA 2.1.2A. **MODELO DE PRESENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA UNA MARCA VIAL PREFABRICADA DE LA FAMILIA 1: CINTA AX**

MATERIAL BASE DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (IDENTIFICACIÓN)	INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN
NOMBRE COMERCIAL: CINTA AX NATURALEZA: CINTA COLOR: BLANCO FABRICANTE (S): CINTA S.A. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS VER DECLARACIÓN CONTENIDO EN SUSTANCIAS PELIGROSAS: VER DECLARACIÓN MARCADO CE N DE LA FAMILIA: XXXXXXY	Aplicada solamente por presión

TABLA 2.1.2B. **MODELO DE PRESENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA UA MARCA VIAL PREFABRICADA DE LA FAMILIA 2 TERMO AY – SISTEMA 1**

MATERIAL BASE DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL (IDENTIFICACIÓN)	INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN		
NOMBRE COMERCIAL TERMO AY NATURALEZA: TERMOPLÁSTICO COLOR: BLANCO FABRICANTE (S) TERMO, S.A. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS VER DECLARACIÓN CONTENIDO EN SUSTANCIAS PELIGROSAS: VER DECLARACIÓN MARCADO CE N DE LA FAMILIA: XXXXXXZ	Aplicado mediante aporte de calor y con materiales de post-mezclado		Dosificación(s)
			Materiales de post-mezclado
	Post mezclado	Nombre comercial: microesferaGB-B Marcado CE Nº: 1234-CPD-0321	500 g/m²

2.2. CARACTERIZACIÓN ATENDIENDO A LAS NECESIDADES DE LOS USUARIOS

La necesidad de los usuarios respecto de la señalización horizontal se puede interpretar como la de obtener información visual de la carretera a través de mensajes discernibles y claramente identificables y a una distancia tal que el conductor tenga tiempo suficiente de percepción y reacción.

El conductor recibe la información visual proveniente de la marca vial de forma continua, pudiendo llegar a convertirse, en condiciones de baja visibilidad, en su única referencia. Hay que conocer cuáles son las propiedades de las marcas viales que satisfacen esas necesidades, ejecutando los trabajos de forma que se alcancen y llevando a cabo un seguimiento sistemático para garantizar su correcto mantenimiento.

2.2.1. Diseño

El diseño se refiere a la combinación de formas y colores que proporcionen un mensaje discernible e identificable.

Se consigue que sea **discernible** proporcionando a la marca vial suficiente contraste con el pavimento adyacente tanto de día como de noche:

- en **iluminación diurna** mediante lo especificado para los factores de luminancia de la marca vial y del pavimento (PG-3 artículo 700), tal como se describe en la UNE EN 1436, Anexo C. Cuando se emplean equipos dinámicos de medida, suele darse el valor del parámetro denominado contraste diurno (Cd). Este Cd no es comparable con el parámetro especificado en la UNE EN 1436, Anexo C (condiciones controladas de intensidad y dirección del flujo de luz), pues los equipos dinámicos emplean la iluminación ambiente durante la medida, lo que significa que varía tanto su intensidad como su dirección (véanse normas UNE 135214-1 y UNE 135214-2).
- en **iluminación nocturna** bajo los faros del vehículo y tanto con pavimento seco como mojado, mediante lo especificado para el coeficiente de luminancia retrorreflejada (en adelante retrorreflexión) de la marca vial (PG-3 artículo700).

La retrorreflexión en condiciones de pavimento mojado se encuentra normalizada en la norma UNE EN 1436.

Se consigue que sea **identificable** mediante la utilización de códigos de formas y colores (diseño) normalizados:

- La forma de las marcas viales está reglamentada en la Norma 8.2-IC «Marcas viales» de la Instrucción de Carreteras.
- El empleo de marcas viales de colores está reglamentado en la Norma 8.2-IC y las especificaciones sobre colores se encuentran normalizadas en la norma UNE 135200.
- El hecho de que el mensaje de la marca vial sea de signos, formas y colores hace que sea claro, rápido y universalmente identificable.

2.2.2. Distancia de visibilidad

Se consigue la **distancia de visibilidad** fijando los valores mínimos de los parámetros fotométricos propios de la marca vial anteriormente citados (retrorreflexión, luminancia y color) y los de su diseño (forma y superficie específica).

- La distancia de visibilidad (o su equivalente en tiempo de percepción y reacción) es un factor fundamental de seguridad vial y como tal no depende sólo de la propia marca vial sino de factores dependientes de la carretera, el vehículo y el conductor con los que interactúa.
    - la carretera y sus condiciones de visibilidad: trazado, iluminación, luminancia del pavimento y climatología (lluvia, niebla).

- el vehículo: ángulos de iluminación y observación y la propia intensidad y limpieza de los faros,
- el conductor: agudeza visual.

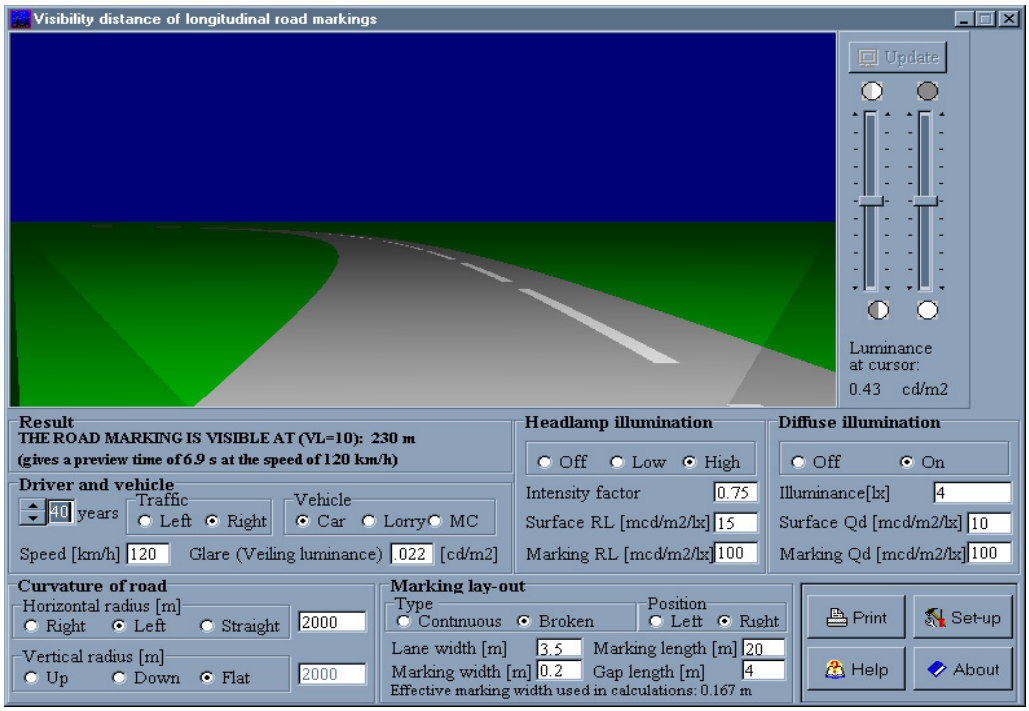


FIGURA 2.2.1 **PROGRAMA VISIBILITY (ACCIÓN COST 331) PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN FUNCIÓN DE TODOS LOS FACTORES DE INFLUENCIA**

2.2.3. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Se consigue **resistencia al deslizamiento** mediante la fricción producida entre el neumático y la superficie de la marca vial y se encuentra regulada en el PG-3 artículo. 700; cláusula 700.4 (ver apartado 2.3.3).

2.3. CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE UNA MARCA VIAL. NOCIONES Y MÉTODOS DE MEDIDA

En base a lo expuesto en el apartado 2.2, el Mandato Comunitario M/111, que regula la normalización de las marcas viales, establece como requisitos esenciales de las marcas viales sus características de visibilidad (diurna y nocturna), resistencia al deslizamiento y de durabilidad. Son por lo tanto características propias de cada sistema.

Este capítulo desarrolla cada una de estas características, así como los de los parámetros que los caracterizan y los correspondientes métodos de medida.

2.3.1. VISIBILIDAD DIURNA

La distancia de visibilidad en condiciones de iluminación diurna se consigue mediante marcas viales que presenten un adecuado contraste con el pavimento sobre el que están colocados. Se trata, en consecuencia, de una magnitud que no depende únicamente de la marca vial sino del pavimento sobre el que está colocada.

El contraste diurno con el pavimento puede calcularse con alguna aproximación utilizando la medida de alguno de los siguientes parámetros:

Relación de contraste Rc: Basado en el factor de luminancia (β), Este coeficiente ha estado regulado por la norma UNE 135214:94 (actualmente derogada) y sustituida por la norma UNE 135214 parte 1. Aunque no está establecido formalmente, algunos Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares han establecido un valor umbral de 1,7.

$$Rc = \frac{\beta_{marca\ vial} - \beta_{pavimento}}{\beta_{pavimento}}$$

Contraste diurno Cd: Basado en el coeficiente de luminancia en iluminación difusa (Qd). Este coeficiente está regulado por la norma UNE 135214 parte 2. Este coeficiente, no está regulado por el PG-3 y como tampoco está el contraste diurno. Aunque su valor no puede ser comparable a Rc, la Acción COST 331 considera que un valor de 1,6 es un umbral suficiente.

$$Cd = \frac{Qd_{\ marca\ vial} - Qd_{\ pavimento}}{Qd_{\ paviment}}$$

Contraste de luminancias CLd: Basado en la medida de la luminancia (L) con ángulo de observación rasante (2,29º) y con iluminación real (variable en intensidad y dirección). Algunos equipos fotométricos dinámicos montados sobre vehículos proporcionan valores del contraste diurno que deben considerarse simplemente como orientativos debido a que la medida se realiza bajo condiciones variables de iluminación y con una alta influencia de la componente especular.

$$CLd = \frac{L_{\ marca\ vial} - L_{\ pavimento}}{L_{\ pavimento}}$$

En las fórmulas anteriores el subíndice es auto-explicativo del lugar en el que ha sido medido el parámetro y las diferentes unidades están definidas de la siguiente forma:

2.3.1.1. Factor de luminancia β (en un punto sobre la superficie de un cuerpo no radiante):

Es la relación entre la luminancia de un cuerpo Lc y la de un difusor reflectante o transmisor perfecto Lp, iluminado de la misma manera.

Símbolo: β; Unidad: adimensional; β = Lc/Lp.

El valor máximo alcanzado por una superficie blanca reflectante difusa es de 1 o de 100 si se expresa en %

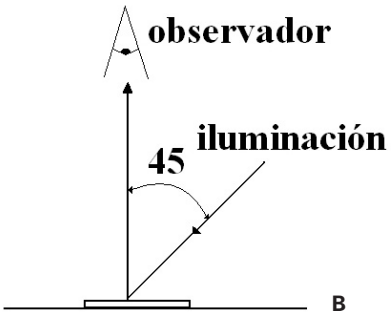


FIGURA 2.3.1. **MEDIDA DEL FACTOR DE LUMINANCIA: A) COLORÍMETRO PARA LA MEDIDA DEL FACTOR DE LUMINANCIA Y EL COLOR; B) ESQUEMA DE LA ILUMINACIÓN Y OBSERVACIÓN**

2.3.1.2. Coeficiente de luminancia en iluminación difusa Qd:

Permite caracterizar a elementos retrorreflectantes observados bajo ángulo rasante (como son las marcas viales). Es el cociente entre la luminancia de una superficie L observada en ángulo rasante e iluminación difusa y la iluminación sobre el plano de la superficie E.

Símbolo: Qd ; Unidad: es adimensional pero se expresa en estas unidades para indicar que el valor resultante debe ir acompañado por los ángulos de iluminación y de observación: $cd/m^2 \cdot lx$ Qd = L/E.

El máximo valor alcanzado por la una superficie reflectante difusa de blancura perfecta es de:

$Qdmax = 1/\pi = 318\ mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$.

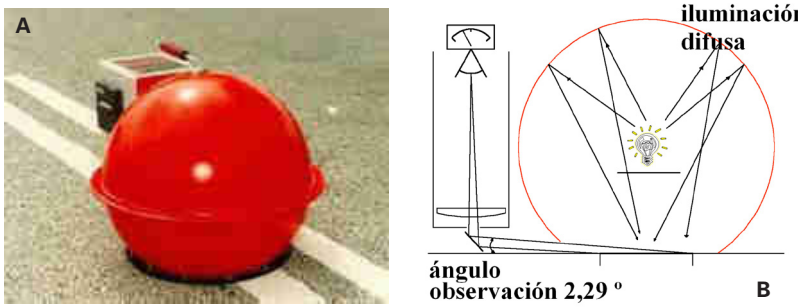


FIGURA 2.3.2. **MEDIDA DEL COEFICIENTE DE LUMINANCIA QD: A) EQUIPO DE MEDIDA DE QD; B) ESQUEMA DE LA ILUMINACIÓN Y OBSERVACIÓN**

2.3.1.3. Luminancia L y medida

Es el cociente entre la intensidad luminosa emitida por un elemento de superficie, en una dirección dada, y el área dA de la proyección ortogonal de este elemento de superficie sobre un plano perpendicular a la dirección (área proyectada o aparente) considerada.

Símbolo: L; Unidad : cd/m^2 ; $L = dI/dA \cdot \cos\theta$.

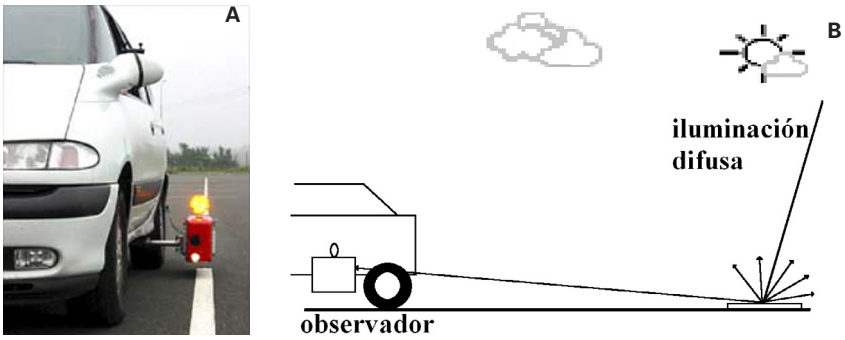


FIGURA 2.3.3. **MEDIDA DEL COEFICIENTE DE LUMINANCIA QD: A) EQUIPO DE MEDIDA DE L MONTADO SOBRE VEHÍCULO; B) ESQUEMA DE LA ILUMINACIÓN Y OBSERVACIÓN**

Sólo las dos primeras formas de obtener el contraste (mediante β o Qd) pueden considerarse correctas desde el punto de vista metrológico, si bien los valores obtenidos no son comparables ya que las condiciones de medida son diferentes.

Para el tercer caso (medida de L) la iluminación no es estándar sino la real existente con un fuerte componente direccional y por lo tanto variable. Esta medida sólo puede darse a título orientativo.

En condiciones de iluminación diurna el pavimento presenta una luminancia muy alta, del orden de 1000 $cd \cdot m^{-2}$. En estas condiciones, la distancia de visibilidad sólo es baja cuando el contraste es muy bajo pero pequeños aumentos de contraste producen grandes aumentos como puede verse en el gráfico de la figura 2.3.4.

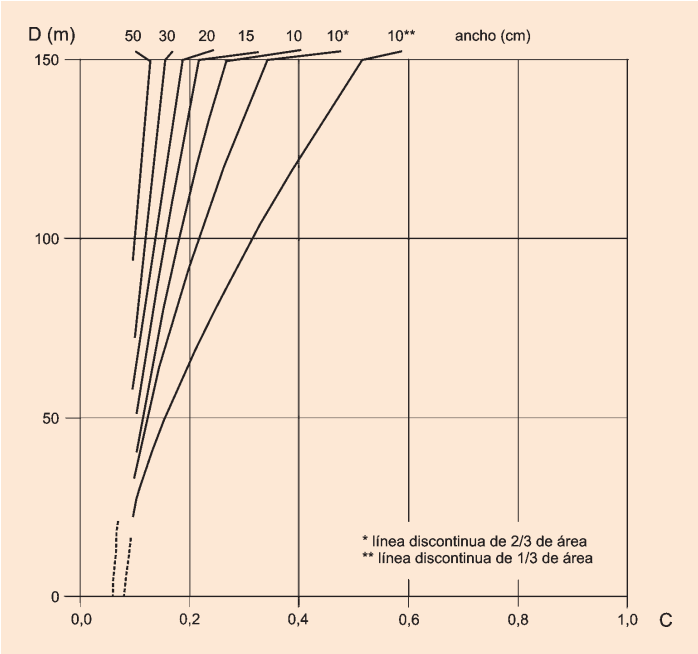


FIGURA 2.3.4. **DISTANCIA DE VISIBILIDAD (D) EN FUNCIÓN DEL CONTRASTE (C) EN MARCAS VIALES DE DISTINTA SUPERFICIE (ANCHO).(FUENTE:ACCIÓN COST 331)**

Cuando los pavimentos son de color muy claro (como por ejemplo ocurre con los de hormigón de cemento, como el mostrado en la fig. 2.3.5), aparte de ser necesario un valor más alto para el factor de luminancia de la marca (0,40) puede ser recomendable su rebordeo con un color que aumente el contraste con el pavimento. El PG-3 especifica rebordear de negro cuando el factor de luminancia b del pavimento es superior a 0,15 lo que de alguna forma significa estar solicitando indirectamente una relación de contraste (Rc) mínima de 1,7. Lo que de otra manera significa que la marca vial es un 70% más visible que el pavimento adyacente.

FIGURA 2.3.5. **PÉRDIDA DE CONTRASTE CUANDO EL PAVIMENTO TIENE COLOR CLARO**

En condiciones de iluminación diurna o nocturna direccional (sol o luces de frente y, por lo tanto, opuesta a la iluminación difusa), el componente especular se convierte en el más importante; es decir, la marca vial puede comportarse como un espejo reflejando el brillo de las luces que hay frente al observador.

– Puede ocurrir que la marca vial tenga menor reflexión especular que el pavimento, como es el caso de las marcas viales con resaltes y con otras marcas (que tengan una

alta retrorreflexión) cuando el pavimento tiene una fuerte reflexión especular (ver fig.: 2.3.6.a)

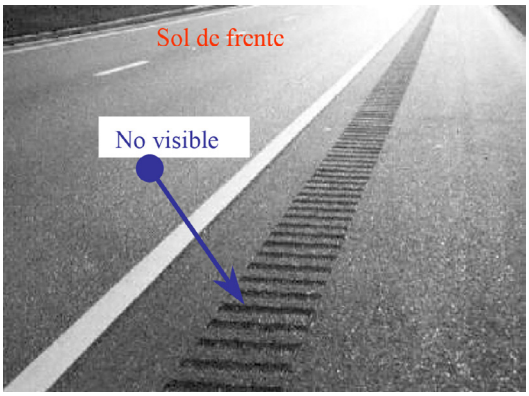


FIGURA 2.3.6. **A) EJEMPLO EN EL QUE CON SOL DE FRENTE, UNA MARCA VIAL CON RESALTES PIERDE CONTRASTE DEBIDO A SU ESCASA O NULA REFLEXIÓN ESPECULAR.**

– Un caso especial es cuando este contraste es negativo, fenómeno que se denomina reversión de contraste (ver fig. 2.3.6.b) y se produce cuando el brillo de una pintura negra (de las que habitualmente se han podido emplear en un pretendido borrado de marcas viales) se hace mucho más visible al conductor que la marca vial blanca o amarilla reglamentaria.

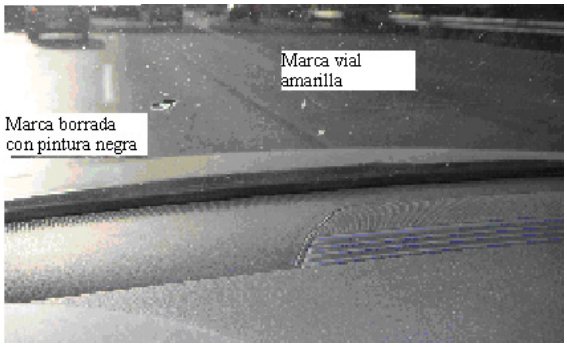


FIGURA 2.3.6. **B) EJEMPLO EN EL QUE CON SOL DE FRENTE, UNA MARCA VIAL BORRADA CON PINTURA NEGRA SE HACE MÁS VISIBLE QUE LA MARCA VIAL AMARILLA DE OBRA.**

– En condiciones de lluvia o humedad, el componente especular aumenta debido al efecto del agua mientras disminuye el tipo de reflexión difusa. El contraste permanece, generalmente, positivo pero depende en gran parte de la textura superficial. (figura 2.3.7.)

Esto lleva a recomendar, no emplear resaltes en líneas que tengan una función reguladora (por ejemplo prohibidos adelantar en el eje) y a evitar el empleo de pintura negra para la eliminación de marcas viales no útiles (utilizar marcas enmascaradoras exentas de brillo).

Ha habido siempre una tendencia a equiparar el comportamiento de las marcas viales bajo iluminación diurna y luz artificial si bien pueden existir diferencias significativas que se tratan en apartados posteriores.

En el caso de iluminación artificial, los niveles de iluminación varían entre 10 $cd{\cdot}m^{-2}$ y 0,1 $cd{\cdot}m^{-2}$. Entre dos luces y quizás a muy altos niveles de iluminación artificial, el comportamiento visual, es todavía relativamente bueno y puede llegar a compararse a la iluminación diurna (este es el caso de algunas calles o túneles muy bien iluminados) pero se reduce apreciablemente cuando la iluminación es de 1 $cd{\cdot}m^{-2}$, y mucho más significativamente cuando se llega a 0,1 $cd{\cdot}m^{-2}$.

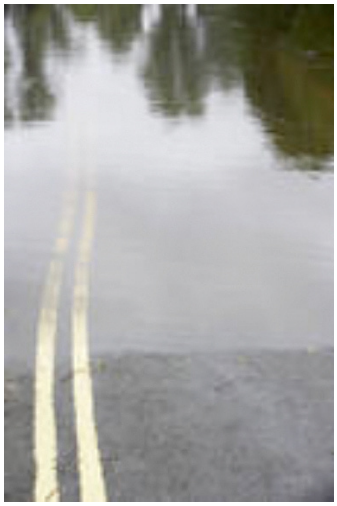


FIGURA 2.3.7.

En estas condiciones es conveniente evitar componentes de iluminación en direcciones especulares y emplear marcas viales con menor reflexión especular que el pavimento. Debido al hecho de que el menor nivel de iluminación artificial está en el entorno de los menores niveles de iluminación con faros, los aumentos de contraste deben ser mucho mayores para obtener las necesarias distancias de visibilidad. Esto lleva a recomendar que en iluminación artificial haya un aporte adicional de contraste a través de una mejora en el nivel de retrorreflexión, es decir mediante la incorporación de microesferas (preferiblemente de premezclado). El gráfico de la figura 2.3.8 muestra como, bajo iluminación artificial difusa de 1 cd·m^{-2} en el pavimento el valor de la relación de contraste (sin retrorreflexión) debe ser mayor que con la iluminación diurna.

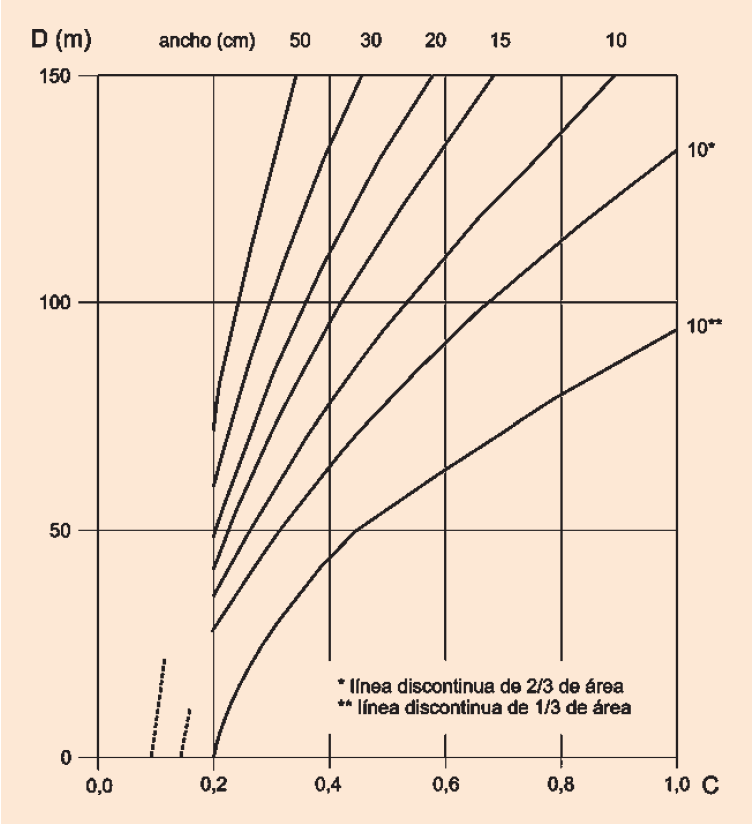


FIGURA 2.3.8. **DISTANCIA DE VISIBILIDAD (D) EN FUNCIÓN DEL CONTRASTE (C) EN MARCAS VIALES BAJO ILUMINACIÓN DE 1 CD/M² EN EL PAVIMENTO, CON DISTINTA SUPERFICIE (ANCHO) (FUENTE: ACCIÓN COST 331)**

2.3.2. VISIBILIDAD NOCTURNA

La visibilidad nocturna tiene lugar cuando la iluminación de la marca vial se realiza desde los faros del vehículo. Dentro de las direcciones de un haz correspondiente a un faro clásico, las intensidades luminosas se encuentran próximas a las 10.000 cd. Para algunos faros más modernos se pueden encontrar intensidades considerablemente más elevadas. Por ejemplo, la luminancia del pavimento a 100 m de los dos faros de un vehículo con luces largas de intensidades luminosas de 10.000 cd cada uno en esa dirección es del orden de 0,03 $cd \cdot m^{-2}$ (considerando un valor de R_L para el pavimento de 15 $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$). Esto se puede comprobar experimentalmente con marcas viales que son invisibles a gran distancia pero que emergen cuando se está lo suficientemente cerca y se manifiesta todavía más cuando se conduce con luces cortas, puesto que la visibilidad de las marcas viales no va, en general, más allá del límite de la zona iluminada por ellas.

En general, se puede decir que las luminancias de fondo en iluminación con los faros de un vehículo son generalmente pequeñas, pudiendo considerarse como rango normal el comprendido entre 0,001 $cd \cdot m^{-2}$ y 0,1 $cd \cdot m^{-2}$. En estas condiciones grandes aumentos de contraste sólo se traducen en pequeños aumentos en la distancia de visibilidad y lo importante es el estímulo que recibe el ojo para poder alcanzar la visibilidad de objetos relativamente pequeños. Éste es el fundamento del empleo de microesferas de vidrio con objeto de intensificar la retrorreflexión de las marcas viales (es decir el estimulo visual).

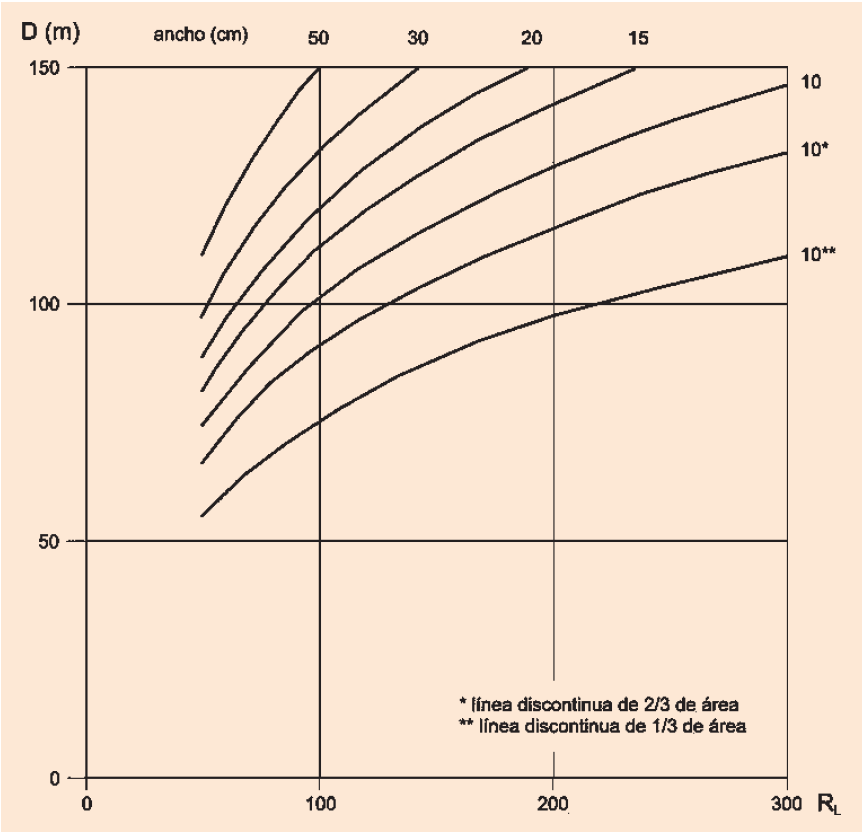


FIGURA 2.3.9. **DISTANCIA DE VISIBILIDAD (D) EN FUNCIÓN DE LA RETRORREFLEXIÓN (R_L) EN MARCAS VIALES DE DISTINTA SUPERFICIE (ANCHO). (FUENTE: ACCIÓN COST 331)**

La variable de la figura 2.3.9 es la geometría de la marca vial. Las diferentes geometrías son: líneas continuas de anchos 10, 15, 20, 30 y 50 cm, y líneas discontinuas de 10 cm de ancho que rellenan 2/3 y 1/3 de la distancia recorrida (siendo las relaciones marca vial/vacío de 2/1 y 1/2 respectivamente). De la figura puede establecerse que una marca vial discontinua proporciona la misma distancia de visibilidad que una línea continua de ancho reducido (para los casos de la figura 2.3.9, los anchos reducidos son respectivamente 6,67 y 3,33 cm. Es decir la retrorreflexión tiene un

efecto en la distancia de visibilidad similar al de la superficie específica de la marca vial. El mismo estudio (Acción COST 331) prueba que el factor de mayor influencia en la distancia de visibilidad de la marca vial es la propia intensidad de iluminación de los faros del vehículo, sobre cuyo mantenimiento se debe promover una atención especial, ya que la marca vial no puede devolver más luz de la que le llega.

2.3.2.1. Retrorreflexión

La retrorreflexión es la capacidad que tienen algunas superficies que por su estructura pueden reflejar la luz de vuelta hacia la fuente, sin que importe el ángulo de incidencia original. Este comportamiento se puede observar en un espejo, pero únicamente cuando éste se encuentra perpendicular a la fuente; es decir, cuando el ángulo de incidencia es igual a 90°. Se puede construir un retrorreflector simple colocando tres espejos ordinarios de forma que todos sean perpendiculares entre sí (formando un triedro trirrectángulo). La imagen que se produce es igual a la imagen producida por un espejo pero invertida.

Si a una superficie se le aplica una pequeña capa de esferas de vidrio es posible obtener una superficie con una capacidad limitada de retrorreflexión. El mismo efecto se puede obtener si se dota a las superficies con una estructura similar a pequeñas pirámides En ambos casos, la estructura interna de la superficie refleja la luz que incide sobre ella y la envía directamente hacia la fuente.

La incorporación de microesferas de vidrio a la marca vial tiene por finalidad dotarla de dioptríos esféricos capaces de producir el fenómeno de la retrorreflexión. Esta incorporación puede hacerse a través del mismo producto (premezclado), por post-mezclado, o por ambos.

El fenómeno de la retrorreflexión se produce cuando la luz procedente de los faros de un vehículo, es refractada por la esfera y una parte de ella, reflejada por la superficie hundida de la esfera, vuelve en la misma dirección de incidencia (ver figura 2.3.10).

Puede demostrarse, a partir de las leyes de la óptica geométrica, que la mayor parte de la luz que llega a una esfera de vidrio incrustada en una pintura blanca, retorna en la misma dirección en la que ha llegado. A este fenómeno se le llama RETRORREFLEXIÓN y se mide mediante el llamado coeficiente de luminancia retrorreflejada R_L o retrorreflexión.

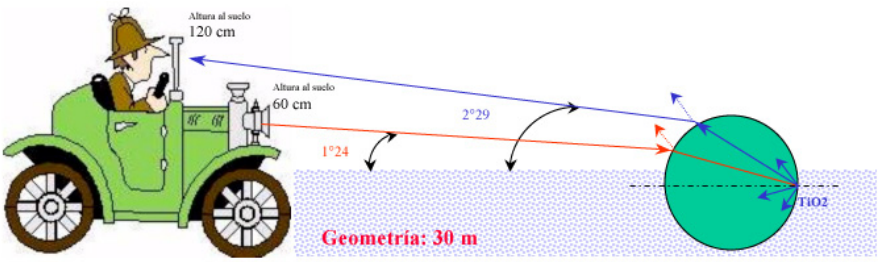


FIGURA 2.3.10. **FENÓMENO DE LA RETRORREFLEXIÓN Y GEOMETRÍA DE MEDIDA (ILUSTRACIÓN CEDIDA POR SOVITEC IBERICA, S.A.)**

El **coeficiente de luminancia retrorreflejada R_L o retrorreflexión** permite caracterizar a elementos retrorreflectantes observados bajo ángulo rasante (como son las marcas viales). Es el cociente entre la luminancia L de una superficie retrorreflectante en la dirección de observación y la iluminación $E_\perp$ recibida sobre un plano perpendicular a la dirección de la luz incidente.

Símbolo: R_L; Unidad (es adimensional pero se expresa en estas unidades para indicar que el valor resultante debe ir acompañado por los ángulos de iluminación y de observación): $mcd \cdot m^{-2} – lx^{-1}$

$$R_L = L/E_\perp$$

2.3.2.1.1. Factores fundamentales de influencia

Las marcas viales blancas aplicadas sobre distintos tipos de textura (pavimentos) muestran que cuando no tienen microesferas de vidrio su coeficiente de luminancia retrorreflejada está dentro de los siguientes límites prácticos:

$$20\ mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1} \leq R_L \leq 80\ mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$$

La contribución de las microesferas de vidrio al coeficiente de luminancia retrorreflejada, de la marca vial en la que están presentes, puede representarse por un modelo matemático formado por el producto de cuatro factores.

$$R_L = R \cdot G \cdot Q \cdot T \cdot EF$$

El factor **R (retro)** es la relación entre la intensidad luminosa retrorreflejada y el flujo luminoso incidente y depende de la calidad de las microesferas de vidrio, de su grado de hundimiento y de la luminosidad (blancura) del material base Para las microesferas normales, en situación favorable, el valor teórico estimado está entre 1000 y 2000 $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$.

El factor **G (geometría)** depende de la geometría de medida, en particular de los ángulos de iluminación y observación que para una distancia de 30 m, una altura de los faros de 60 cm y una altura de los ojos de 1,20 m, son: ξ = 1,24º y α = 2,29º. El factor G es el cociente entre los senos de los dos ángulos:

$$G = \text{sen}\ \xi / \text{sen}\ \alpha \ ; \ G = 0{,}541$$

El factor **Q (cantidad de esferas)** representa la fracción del flujo luminoso incidente que llega a las microesferas de vidrio y, en consecuencia, su valor depende de la cantidad de esferas que hay en la superficie.

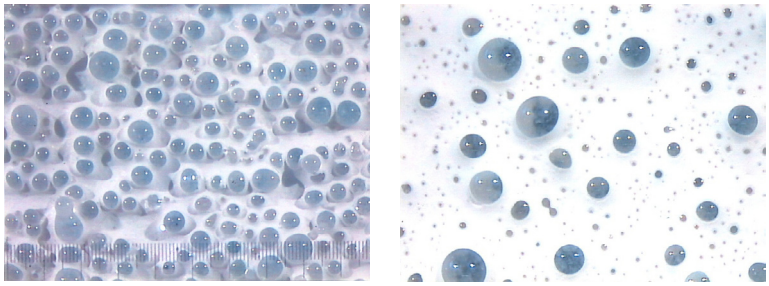


FIGURA 2.3.11. **DISTINTAS DOSIFICACIONES DE MICROESFERAS DE VIDRIO (700G/M² Y 200G/M² RESPECTIVAMENTE).**

El factor **EF (esferas eficaces)** expresa la fracción de esferas iluminadas que son visibles. El valor puede estar cercano a la unidad para marcas viales nuevas y hasta 0,1 para marcas viales desgastadas.

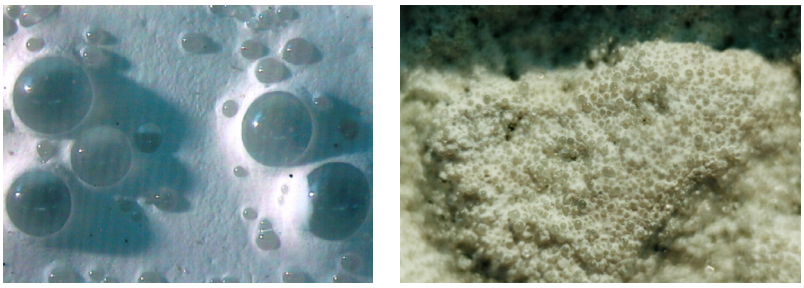


FIGURA 2.3.12. **CUANDO LAS ESFERAS ESTÁN COLOCADAS DETRÁS DE UN OBSTÁCULO (UN ÁRIDO, UN RESALTE U OTRA MICROESFERA), LAS MICROESFERAS SITUADAS A LA «SOMBRA» SON INEFICACES**

El producto de todos estos factores mencionados proporcionan la contribución de las microesferas de vidrio al coeficiente de luminancia retrorreflejada, cuyo valor máximo estaría situado en torno a:

$$R_L \leq 1000 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$$

En la realidad, los resultados obtenidos sobre marcas viales reales con microesferas de vidrio en seco proporcionan valores dentro de los siguientes límites prácticos:

$$100 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1} \leq R_L \leq 600 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$$

2.3.2.1.2. Otros factores de influencia en la visibilidad nocturna

- **Índice de refracción** de las microesferas de vidrio: tiene una gran influencia en la eficacia de la retrorreflexión de la microesfera. Sin embargo, las condiciones prácticas no aconsejan utilizar esferas de alto índice (superior a 1,8) debido a su excesivo coste y alta fragilidad, por lo que en la práctica se ha de considerar que las microesferas de vidrio tienen un índice de refracción entre 1,5 y 1,55.

  El modelo matemático demuestra que la mayor cantidad de luz retrorreflejada se produce cuando la microesfera está hundida un 60% de su diámetro para un índice de refracción 1,5 y un 50% para un índice de refracción 2.

- **Grado de hundimiento** de las microesferas de vidrio: una vez definido el índice de refracción, el factor de mayor importancia es el grado de hundimiento de las microesferas dentro de la película formada por el material base (pintura, termoplástico, plástico en frío o marca prefabricada) El grado de hundimiento de una microesfera de vidrio aplicada por postmezclado depende de la acción conjugada de cuatro fenómenos físicos que se oponen a la masa de la microesfera de vidrio:
  - El empuje de Arquímedes recibido por la esfera (flotación).
  - Los fenómenos de tensión superficial entre la microesfera y el producto.
  - La reología del producto.
  - La energía cinética de la microesfera al caer (o ser proyectada) sobre la película.

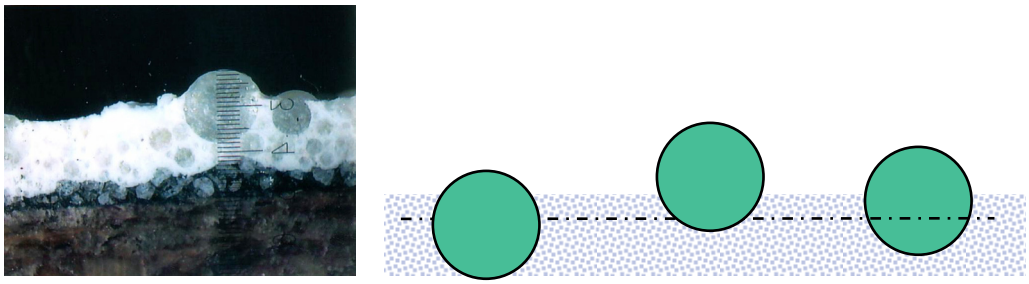


FIGURA 2.3.13. **ILUSTRACIÓN REAL Y GRÁFICA DE DISTINTOS GRADOS DE HUNDIMIENTO.**

- **Reflexión externa** de la luz incidente sobre la interfase aire-vidrio (mejorable con tratamientos superficiales antirreflectantes), que aumenta muy considerablemente cuando la luz incidente llega (como es el caso) en ángulo rasante.

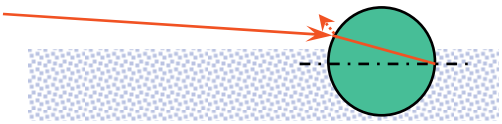


FIGURA 2.3.14. **PARTE DE LA LUZ INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE DE LA MICROESFERA ES REFLEJADA Y SE PIERDE.**

– **Reflexión interna** de la luz reflejada sobre la interfase vidrio-aire, cuyo efecto es menor ya que los ángulos internos no son rasantes.

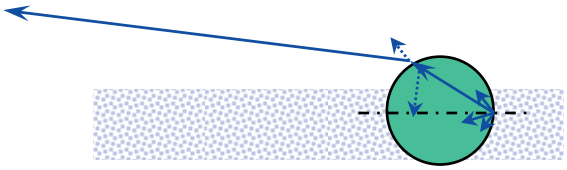


FIGURA 2.3.15. **UNA PARTE DE LA LUZ QUE VA A SALIR DEL VIDRIO AL AIRE PUEDE SER TAMBIÉN REFLEJADA EN EL INTERIOR DE LA ESFERA Y NO SUMARSE AL EFECTO DE RETRORREFLEXIÓN.**

– **Esfericidad:** La forma no esférica distorsiona considerablemente la dirección de los rayos.

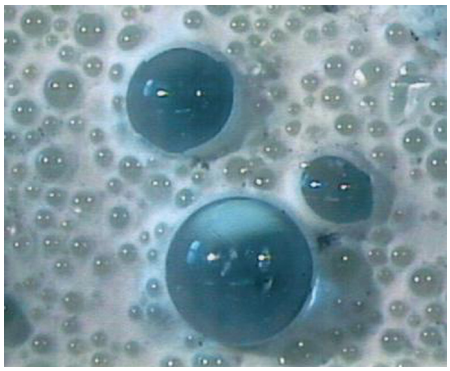


FIGURA 2.3.16. **EJEMPLO DE PARTÍCULAS PERFECTAMENTE ESFÉRICAS.**

– **Calidad** de la superficie de las esferas, exenta de deformaciones, estrías, burbujas, etc, así como la pureza del vidrio (transparencia) tienen también una influencia muy importante en las propiedades retrorreflectantes finales.

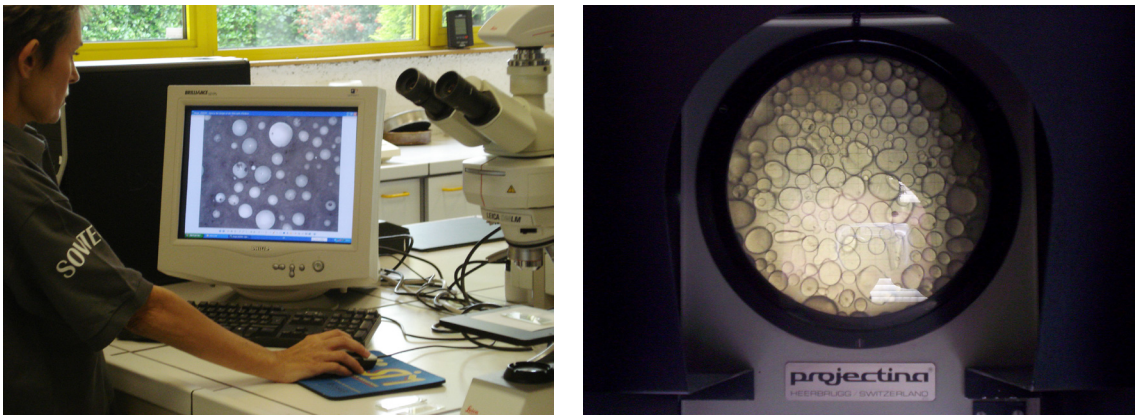


FIGURA 2.3.17. **DETERMINACIÓN DEL % DE MICROESFERAS DE VIDRIO DEFECTUOSAS.**

– **Luminancia** del material base (pintura, termoplástico, plástico en frío o marca prefabricada), en particular la de la superficie en contacto con la parte hundida de la microesfera de vidrio. En esta superficie se produce la reflexión de la luz y es tanto mayor cuanto más se aproxime al blanco perfecto, es decir cuanto mayor sea su luminancia. En ese momento una parte del flujo luminoso queda absorbido por la superficie y otra parte es reflejado. La proporción de luz absorbida es tanto mayor cuanto más obscura es la superficie y en consecuencia también es menor el coeficiente de luminancia retrorreflejado.

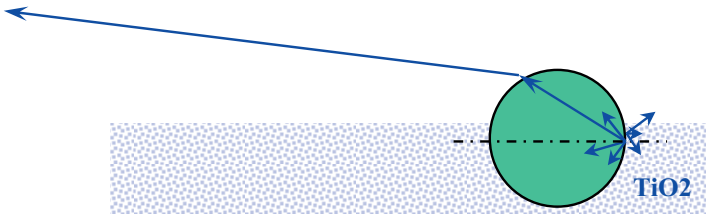


FIGURA 2.3.18. **REFLEXIÓN EN LA INTERFASE VIDRIO-MATERIAL BASE.**

Un caso especial es el de las marcas viales de color amarillo en las que la energía luminosa es absorbida aproximadamente un 30% más que en las blancas, por lo que su retrorreflexión queda también reducida en esa cantidad (Nótese que el factor de luminancia requerido a las marcas viales amarillas en el PG-3 y en la norma UNE EN 1436 es de 0,20 en lugar de 0,30)

Además, con niveles muy bajos de iluminación, como los que existen en conducción nocturna, la agudeza visual es baja y la recepción de la luz se realiza principalmente con los bastones de la retina que no discriminan el color (visión escotópica monocromática). En esas condiciones el amarillo es percibido como un gris. Debido a todo ello, la Convención de Viena recomendó el uso generalizado del color blanco para todas las marcas viales permanentes. Sin embargo, algunos países, sobre todo del ámbito americano, por razones de tradición, mantuvieron el color amarillo en el eje de las carreteras con doble sentido de circulación para indicar esa condición.

Algunas de estas propiedades pueden alterarse mediante la aplicación de tratamientos superficiales a las microesferas de vidrio con diferentes objetivos (flotación y adherencia, fundamentalmente, para corregir el grado de hundimiento y la durabilidad, véase apartado 4.1.5.1).

2.3.2.1.3. Retrorreflexión con pavimento mojado

FIGURA 2.3.19. **A) RETRORREFLEXIÓN PROPORCIONADA POR LA PARTE EMERGENTE DE LA MARCA VIAL. B) ASPECTO DE UNA MARCA VIAL TIPO II (LADO DERECHO DE LA IMAGEN) COMPARADA CON UNA TIPO I (LADO IZQUIERDO DE LA IMAGEN) DE NOCHE Y CON LLUVIA. C) REFLEXIÓN ESPECULAR CUANDO LA PELÍCULA DE AGUA CUBRE TODA LA MARCA VIAL**

Un caso especial es el de la retrorreflexión bajo condiciones de lluvia o de humedad. En estas condiciones la marca vial disminuye su capacidad de retrorreflexión e incluso llega a desaparecer debido a la película de agua que la cubre y que transforma la retrorreflexión en reflexión especular. Existen marcas que pueden mantener un cierto nivel de retrorreflexión gracias a microesferas emergentes de la película de agua, incluso en esas condiciones y son las que están clasificadas en el apartado 1.1 como marcas viales tipo II y se describen en detalle en el capítulo 3.1 Tipos de marcas viales. En el apartado 3.1.3 se puede encontrar una explicación más amplia.

2.3.2.1.4. Medida del coeficiente de luminancia retrorreflejada (Retrorreflexión)

a) En seco.

La medida del coeficiente de luminancia retrorreflejada se realiza mediante equipos estáticos o dinámicos (montados sobre vehículos) diseñados al efecto de acuerdo con la normativa europea

y las especificaciones del PG-3; van equipados con una geometría de ángulo iluminación de 1,24º y de observación de 2,29º que reproducen la percepción que tiene un conductor de una marca vial situada a 30 m por delante de él.

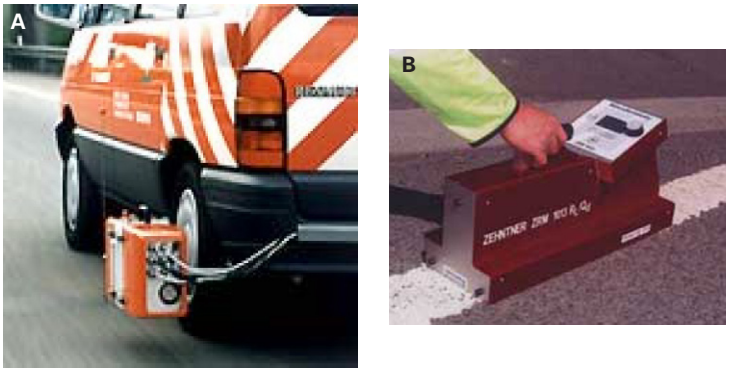


FIGURA 2.3.20. **MEDIDA DE LA RETRORREFLEXIÓN MEDIANTE RETRORREFLÉCTOMETRO: A) MONTADO SOBRE VEHÍCULO. B) PORTÁTIL.**

b) En condiciones de humedad.

Las condiciones de ensayo se crean al verter aproximadamente 3 litros de agua de un cubo sobre la superficie a medir desde una altura de 0,3 m. El agua se extiende homogéneamente a lo largo de la superficie, de forma que el chorro de agua fluya sobre la superficie a medir y la zona circundante. Entonces se deja secar durante (60 ± 5) segundos y se mide el coeficiente de luminancia retrorrreflejada R_L en $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$.

La medida también puede llevarse a cabo tras (60 ± 5) segundos de haber cesado la lluvia, tal como se describe a continuación.

c) En condiciones de lluvia.

Las condiciones de ensayo deben crearse empleando agua limpia en forma de lluvia artificial, sin pulverización ni nebulización a una intensidad de 20 mm/h sobre un área que tenga, al menos, el doble de ancho de la superficie a medir con un mínimo de 0,3 m y al menos un 25% más largo que el área de medida. La máxima relación entre la variación de intensidades de lluvia del punto mayor y el menor debe ser de 1:1,7. La medida del coeficiente de luminancia retrorrreflejada R_L $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$ en condiciones de lluvia se lleva a cabo tras 5 minutos de lluvia continuada.

Tras parar la lluvia y esperar (60 ± 5) segundos, puede llevarse a cabo la medida bajo condiciones de humedad.

FIGURA 2.3.21. **MEDIDA DE LA RETRORREFLEXIÓN EN HÚMEDO.**

FIGURA 2.3.22. **MEDIDA DE LA RETRORREFLEXIÓN BAJO CONDICIONES DE LLUVIA (SIMULADA). A) EN LABORATORIO, B) EN CARRETERA (CON PROTECCIÓN DEL VIENTO)**

Existen algunos desarrollos para llevar a cabo la medición en carretera con equipos montados sobre vehículos que requieren medir a 20 km/h con un consumo aproximado de 1 litro/s.

2.3.3. Resistencia al deslizamiento

Como definición muy simple se puede decir que por resistencia al deslizamiento de una marca vial se entiende la propiedad que mantiene la adherencia del neumático que circula sobre ella.

Existe un gran número de factores que contribuyen a la resistencia al deslizamiento, tales como la presión, el área de contacto y el dibujo del neumático, el ángulo de contacto, la composición del caucho, la macrotextura y microtextura de la superficie del pavimento, la velocidad del vehículo, las condiciones meteorológicas, etc. La resistencia al deslizamiento, además, varía con el efecto que tanto el clima como el tráfico provocan en las propias características superficiales.

Las marcas viales se aplican sobre la superficie del pavimento, modificando las propiedades superficiales del pavimento. Esta variación es tanto mayor cuanto más gruesa sea la capa que recubre el pavimento, pues ello hace que no se transmita a la superficie de la marca la textura del pavimento, por tanto, a más dosificación (o mayor número de capas) menor transmisión de textura. En todo caso la dosificación debe estar en equilibrio con la durabilidad.

El coeficiente de rozamiento sobre una superficie seca, es generalmente aceptable, pero en mojado, la adherencia entre el neumático y el pavimento disminuye debido a la interposición de una película de agua entre ellos, que se manifiesta con una disminución muy apreciable del coeficiente de rozamiento.

– La microtextura del pavimento es el principal contribuyente a la resistencia al deslizamiento y es el factor dominante en su determinación en húmedo a bajas velocidades.

– La macrotextura del pavimento, favorece el rápido drenaje y el agarre del neumático a altas velocidades.

La resistencia al deslizamiento se reduce por efecto de la acción lubricante del agua de la superficie. Los canales de drenaje que proporciona la macrotextura, así como el dibujo del neumático, ayudan a eliminar la mayor parte del agua y es tanto más importante cuanto mayor es la velocidad. La penetración del neumático en la película de agua remanente sólo puede alcanzarse si además existen suficientes granos (microtextura) en el pavimento sobre los cuales pueda agarrarse el neumático, estableciendo áreas de contacto «seco» entre el pavimento y el neumático.

Cuando se aplica una marca sobre la superficie, se modifica la microtextura de la superficie afectada, dependiendo esta modificación, como se ha dicho, de la propia naturaleza de la marca y de su espesor.

Por estas razones la normativa europea y el propio PG-3 especifican un valor mínimo para la resistencia al deslizamiento.

2.3.3.1 Medida de la resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento se mide en unidades SRT tal como se especifica en la norma UNE EN 1436, mediante el péndulo de rozamiento. Este ensayo es válido para marcas viales no estructuradas, pero no es válido para las estructuradas. (ver apartado 3.1.3.4.).

Sin embargo, la norma UNE EN 1436 prevé la utilización de otros métodos de medida siempre que simulen la acción de un neumático sobre una superficie vial en mojado y tenga una correlación probada con el método del péndulo.

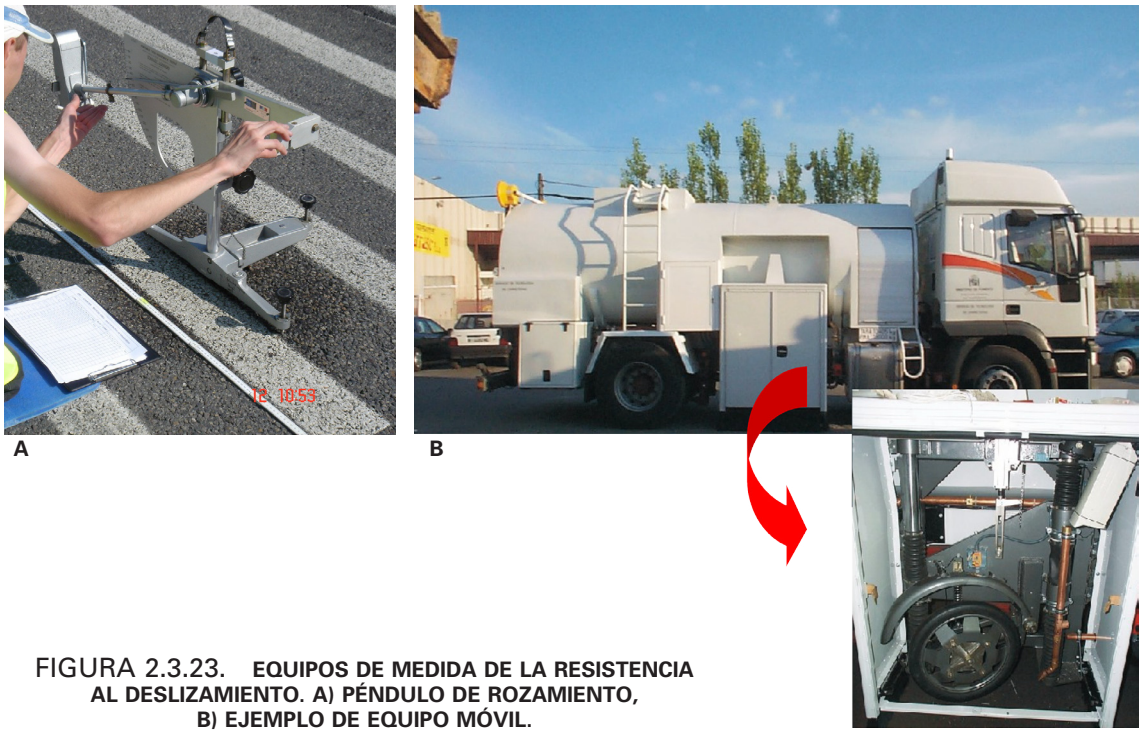


FIGURA 2.3.23. **EQUIPOS DE MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO. A) PÉNDULO DE ROZAMIENTO, B) EJEMPLO DE EQUIPO MÓVIL.**

El conocimiento previo de la macrotextura del pavimento sobre el que va a ser aplicada la marca vial proporciona información fundamental para prever cuál puede ser el comportamiento final desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento y de su durabilidad y por lo tanto constituye uno de los criterios básicos a la hora de definir el uso previsto y de seleccionar el material adecuado.

FIGURA 2.3.24. **MEDIDA DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE TEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE EL MÉTODO VOLUMÉTRICO (ALTURA DE ARENA) (UNE EN 13036-1)**

2.3.4. Durabilidad

Los parámetros que han demostrado mayor influencia en el desgaste de las marcas viales son el paso de ruedas (tráfico) y la macrotextura del pavimento sobre el que debe adherirse la marca; en consecuencia el ensayo debe dar información de la evolución de los requisitos esenciales (visibilidad y resistencia al deslizamiento) respecto de esos dos parámetros.

Otros parámetros como la ubicación de la marca vial, el trazado y tipo de carretera, la IMD, etc., están directamente relacionados con el paso de tráfico. La climatología no ha demostrado una gran influencia y en todo caso se llevan a cabo ensayos indirectos sobre los materiales base (punto de reblandecimiento y resistencia a la radiación UV). Por último, no hay suficientes estudios que permitan definir la influencia del mantenimiento invernal (efecto de sales, cadenas y máquinas quitanieves) sobre el comportamiento de determinados materiales y marcas viales pero su influencia no parece despreciable, por lo que la experiencia local puede ser, de momento, imprescindible en estos casos.

2.3.4.1. Medida de la durabilidad

La durabilidad de los requisitos esenciales se determina siguiendo las especificaciones de la norma UNE EN 13197. El ensayo se basa en aplicar el material de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante sobre una placa de ensayo (de rugosidad también seleccionada) y someterla al desgaste provocado por tráfico simulado. La norma UNE EN 13197 establece cuatro clases de rugosidades o tipos de textura convencionales para determinar la durabilidad de las marcas viales.

El informe o certificado de durabilidad debe incluir la clase (o clases) de rugosidad sobre la que se ha ensayado, para que pueda ser tenido en cuenta a la hora de elegir el sistema adecuado al uso previsto.

TABLA 2.3.1. **CLASES DE RUGOSIDAD**

CLASE DE RUGOSIDAD	PROFUNDIDAD MEDIA DE TEXTURA (MM) DE ACUERDO CON UNE EN 13036-1
RG1	≤ 0,60
RG2	> 0,60 ≤ 0,90
RG3	> 0,90 ≤ 1,20
RG4	> 1,20

RG1 RG2 RG3 RG4

FIGURA 2.3.25. **ILUSTRACIONES DE LAS CLASES DE RUGOSIDAD UTILIZADA EN LAS PLACAS DE ENSAYO**

Sobre las placas elegidas se aplican de forma controlada la marca vial siguiendo las instrucciones del sistema caracterizado, según lo especificado en el apartado 2.1.

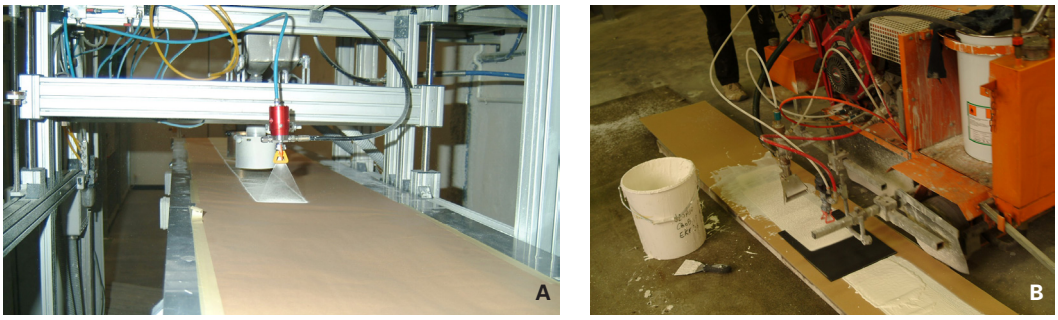


FIGURA 2.3.26. **APLICACIÓN CONTROLADA DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA MARCA VIAL. A) EN MÁQUINA ESTACIONARIA EN LABORATORIO, B) CON MÁQUINA DE APLICACIÓN DE MARCAS SOBRE PAVIMENTOS DE CARRETERAS.**

Como resultado de la aplicación se obtienen las probetas a ensayar, que son previamente acondicionadas antes de ser sometidas a ensayo.

RG1 RG2 RG3 RG4

FIGURA 2.3.27. **ILUSTRACIONES DEL ASPECTO DE UNA MISMA APLICACIÓN DE PINTURA SOBRE CADA UNA DE LAS CUATRO CLASES DE RUGOSIDADES.**

Estas placas, una vez acondicionadas, se colocan en el simulador de desgaste en el que se someten al efecto de la abrasión producida por el paso de neumáticos circulando sobre ellas a distintas velocidades y ángulos y bajo condiciones de agua y seco. Al inicio del ensayo y a la frecuencia

de paradas y medidas establecida en la norma, se llevan a cabo las medidas de las visibilidades y resistencia al deslizamiento que se obtienen a lo largo del ensayo y se finaliza cuando alguno de los parámetros presenta valores por debajo de los umbrales mínimos requeridos.

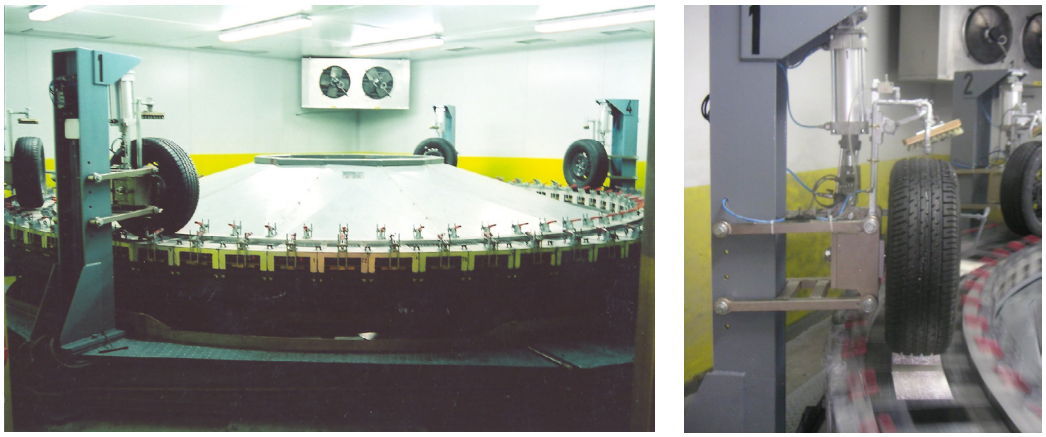


FIGURA 2.3.28. **VISTA GENERAL Y DE DETALLE DEL SIMULADOR DE DESGASTE «MESA GIRATORIA» CONFORME A UNE EN 13197.**

La frecuencia de parada y medida es 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; y 4,0 millones de pasos de rueda. Para cada clase de rugosidad sobre la que se ha realizado el ensayo en el simulador de desgaste, el resultado se expresa como clase de comportamiento (clases P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7 definidas en la UNE EN 13197), correspondiendo cada clase a un determinado número de pasos de rueda, siendo para la clase P0 el menor número de pasos de rueda, y para la clase P6 el mayor número de pasos de rueda. Las distintas clases tienen la consideración de niveles de durabilidad. (figura 2.3.29)

CERTIFICADO DE DURABILIDAD Nº **0001/10**

(Ensayo de durabilidad conforme a la norma: UNE 135200-3: Método B y UNE EN 13197)

A favor de: **TERMO , S.A.**
C/ A nº 1
28000 MADRID)

Fecha: **15 de diciembre de 2010**

Los RESULTADOS DEL ENSAYO que se CERTIFICAN (tipo, uso previsto, nivel de durabilidad y clases técnicas) sólo son válidos cuando se aplican los mismos materiales (mismas marcas comerciales y dosificaciones) como un sistema (**SISTEMA DE MARCADO VIAL CERTIFICADO**

A) IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE MARCADO VIAL CERTIFICADO

IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES Y FORMA DE APLICACIÓN		FABRICANTE(S)	Espesor µm	Dosificación g/m²
Naturaleza: Nombre comercial: Aplicado por:	Pintura alcidica blanca (1a) **TERMO AX** Pulverización	TERMO, S.A.	1.500	3.000
Naturaleza: Nombre comercial: Aplicado por:	Microesferas **GB-1** Postmezclado (B)	ESFERAS, S.A.		500

1) La muestra del material ensayado cumple con los requistos especificados en la norma UNE 135200 y sus valores, junto a los resultados de los ensayos de identificación pueden obtenerse del propio fabricante o en este laboratorio con su autorización expresa.
2) El material ensayado está identificado por su **Declaración de Conformidad CE nº** y sus documentos de acompañamiento

B) RESULTADOS DEL ENSAYO: valores inicial y retenidos y sus clases técnicas, conforme a UNE EN 1436

TIPO DE MATERIAL: (clase general conforme a su naturaleza e instrucciones de aplicación)
Termoplástico blanco con microesferas de vidrio de premezclado aplicada por pulverización con microesferas de vidrio de postmezclado

USO PREVISTO	P-R	RUGOSIDAD	RG2	TIPO	I

NIVEL DE DURABILIDAD		Clases técnicas correspondiente a cada nivel de durabilidad					
		seco R_L	lluvia RR	húmedo RW	β	Qd	PTV
INICIAL	P0	R5	PND	PND	B5	Q5	S2
RETENIDO	P4	R5	PND	PND	B5	Q5	S2
	P5	R4	PND	PND	B4	Q5	S1
	P6	R4	PND	PND	B4	Q4	S1
	P7	R3	PND	PND	B3	Q3	S1
TIEMPO DE SECADO (informativo)					PND		

FIGURA 2.3.29. **MODELO DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE UN ENSAYO DE DURABILIDAD.**

Es importante resaltar que el resultado logrado por una marca vial (sistema) en el ensayo de durabilidad se obtiene para unas condiciones controladas de aplicación y ensayo, que garantizan la repetibilidad y reproducibilidad de los resultados. Esta durabilidad no guarda una relación constante con la vida útil de la marca aplicada en la carretera, la cual depende de las condiciones reales durante la aplicación, así como de factores externos como el tipo de superficie de aplicación o las condiciones climáticas de la zona geográfica, que no coinciden con las condiciones de ensayo. No obstante, si que existe una relación directa entre la durabilidad y la vida útil; así entre dos marcas viales (sistemas) con distintas durabilidades, a la marca vial (sistema) con mayor durabilidad (clase) le corresponde un mayor tiempo de vida útil.

2.4. ASPECTOS GENERALES Y DE IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Como se ha descrito anteriormente, el comportamiento de las marcas viales viene determinado por sus requisitos esenciales y la durabilidad de cada uno de ellos. Sin embargo, existen ciertos aspectos de la durabilidad que pueden verse afectados por la compatibilidad con el sustrato sobre el que son aplicadas y con las condiciones climáticas de su ubicación (resistencia al sangrado que mide la decoloración de la marca vial al aplicarse sobre una superficie bituminosa, a los álcalis, resistencia a la radiación UV y punto de reblandecimiento). Estos aspectos dependen de las propiedades físico-químicas del material base y reciben la calificación de aspectos generales.

Existen otras propiedades físico-químicas que, de forma complementaria a los requisitos esenciales y a los aspectos generales, se pueden solicitar de los materiales base. Estas propiedades físico-químicas se encuentran descritas en la norma UNE EN 1871 y cada Estado miembro de la Unión Europea puede solicitar las que considere necesarias a los efectos de asegurar el nivel de seguridad o de servicio de sus obras. Así por ejemplo, en España, tanto los aspectos generales como las características físico-químicas se especifican en el artículo 700 del PG-3 mediante la referencia a la norma UNE 135200 que desarrolla las correspondientes normas europeas.

La composición de los materiales base no está especificada pero el fabricante está obligado a mantener la misma composición de aquellos materiales que están acreditados. A este fin, todos los materiales que constituyen la marca vial son ensayados para determinar sus propiedades de identificación, especificadas en la norma UNE 135200.

El portador de la acreditación es el material base o la marca vial prefabricada. El mismo material base puede tener acreditados uno o varios sistemas en función del uso que se pretenda de cada uno de ellos.

2.4.1. Aspectos generales

2.4.1.1. Aspectos relativos a la compatibilidad con el pavimento

La compatibilidad con el pavimento se consigue ajustando la naturaleza química del material base al sustrato sobre el que van a ser aplicados y se verifica mediante el cumplimiento de los siguientes requisitos especificados en la norma UNE EN 1871:

- Resistencia al sangrado: Para aquellos materiales que vayan a ser aplicados directamente sobre un pavimento bituminoso.
- Resistencia a los álcalis: Para aquellos materiales que vayan a ser aplicados directamente sobre un pavimento de hormigón.
- Compatibilidades (ver tablas 4.2.3 y 4.2.4). para los materiales que vayan a ser aplicados sobre una marca vial existente o en un pavimento recién construido.

TABLA 2.4.1. **ENSAYOS DE COMPATIBILIDAD CON EL PAVIMENTO PARA CADA MATERIAL**

MATERIAL	MATERIAL BASE			MARCAS VIALES PREFABRICADAS	
	PINTURA	TERMOPLÁSTICO	PLÁSTICO EN FRÍO	FAMILIA 1	FAMILIA 2
ENSAYO	Resistencia a los álcalis y al sangrado	Resistencia a los álcalis	Resistencia a los álcalis	Resistencia a los álcalis	Resistencia a los álcalis

2.4.1.2. Aspectos relativos para la adecuación a las condiciones climáticas

La adecuación a las condiciones climáticas se consigue ajustando algunos parámetros de comportamiento de los materiales base y se verifica mediante el cumplimiento de los siguientes requisitos especificados en la norma UNE EN 1871:

- Punto de reblandecimiento: En España los materiales termoplásticos deben tener un valor del punto de reblandecimiento igual o superior a 95ºC (clases SP3 ó SP4).
- Resistencia a la radiación ultravioleta: En España todos los materiales no presentarán una variación en el factor de luminancia superior a 0,05 (clase UV1).

TABLA 2.4.2. **ENSAYOS DE ADECUACIÓN A LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS A LLEVAR A CABO SOBRE CADA MATERIAL**

MATERIAL	MATERIAL BASE			MARCAS VIALES PREFABRICADAS	
	PINTURA	TERMOPLÁSTICO	PLÁSTICO EN FRÍO	FAMILIA 1	FAMILIA 2
ENSAYO	Resistencia al UV	Resistencia al UV y punto de reblandecimiento	Resistencia al UV	Resistencia al UV	Resistencia al UV y punto de reblandecimiento

2.4.2. Ensayos de identificación

La identificación del material base y de las marcas viales prefabricadas se llevará a cabo conforme a lo especificado para cada uno de ellos en la norma UNE 135200.

2.5. CARACTERIZACIÓN DE LA MARCA VIAL

En resumen, una marca vial está caracterizada por sus requisitos esenciales y su durabilidad y por sus aspectos generales. Los ensayos de identificación no forman parte de su caracterización; su utilidad es el control de los suministros.

La tabla 2.5.1 resume las propiedades que caracterizan, en general, una marca vial y además los parámetros que se requieren para poder ser aplicadas en el marco del PG-3. La estructura de esta sirve de base para definir el uso previsto o asignado a una marca vial. (Véase apartado 3.2).

TABLA 2.5.1. **CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS QUE DEFINEN EN CONJUNTO A UNA MARCA VIAL**

CARACTERÍSTICA			PARÁMETRO Y FORMA DE EXPRESIÓN
REQUISITOS ESENCIALES (UNE EN 1871)	Distancia de visibilidad	Visibilidad diurna	Factor de luminancia β; (clase B) o coeficiente Qd (clase Q) Color (x,y); como pasa/no pasa
		Visibilidad nocturna: Coeficiente de luminancia retrorreflejada R_L	en seco; como clase R en seco y húmedo R_L; como clases R y RW en seco, húmedo y lluvia; como clases R, RW y RR
	Resistencia al deslizamiento		Coeficiente de resistencia al deslizamiento SRT; como clase S
ASPECTOS GENERALES (UNE 135200)	Relativas a la naturaleza del pavimento	Bituminoso	Resistencia al sangrado; como clase BR
		Cemento	Resistencia los álcalis; como pasa/no pasa
		Rugosidad	Rugosidad del pavimento; como clase RG
	Relativas a las condiciones climáticas		Punto de reblandecimiento; como clase SP
			Envejecimiento UVB; como clase UV

3.1. PRESTACIONES

En este apartado se describen las distintas prestaciones que pueden proporcionar las marcas viales para establecer, finalmente, los criterios para su clasificación e identificación. No es objeto de este documento, clasificarlas en función de su diseño (geometría o colores), que está reglamentado en la Norma 8.2-IC Marcas Viales de la Instrucción de Carreteras.

3.1.1. VIDA ÚTIL. MARCAS VIALES PERMANENTES Y TEMPORALES

En función de su utilización, las marcas viales pueden ser permanentes o temporales. La vida útil de las marcas viales temporales está limitada a la duración de las obras, su durabilidad no debe ser superior al nivel P4 y se identifican por la letra T.

Cuando estas marcas viales permitan su fácil retirada se dice que además de temporales son fácilmente eliminables (ver UNE EN 1824, anexo F) y se identifican por la letra F.

La vida útil de las marcas viales permanentes, debe ser tan larga como sea posible y, en todo caso, debe planificarse para que sea de uno o más ciclos climáticos completos. El nivel de durabilidad a exigir en la red de carreteras del Estado es, como mínimo, P5 y se identifican por la letra P.

3.1.2. VISIBILIDAD DIURNA: BLANCAS Y AMARILLAS

En función de su utilización las marcas viales pueden ser también de color blanco o amarillo. En la red de carreteras del Estado las marcas viales permanentes son de color blanco y no se contempla el uso de marcas viales amarillas de carácter permanente (excepto en travesías, cuando se empleen las marcas M-7.7, M-7.8, M-7.9 y M7.10 definidas en el apartado 3.7.5 «Líneas de prohibición de parada o estacionamiento» de la Norma 8.2 I.C. Marcas Viales).

Las características de color y factor de luminancia están descritas en el apartado 3.3.2

3.1.3. VISIBILIDAD NOCTURNA. RETRORREFLEXIÓN EN SECO, HÚMEDO Y BAJO LLUVIA

En función de una de sus prestaciones más relevantes como es la visibilidad nocturna (retrorreflexión), las marcas viales pueden ser:

- tipo 0: marcas viales no retrorreflectantes.
- tipo I: marcas viales retrorreflectantes en seco.
- tipo II: marcas viales, con resaltes o no, diseñadas específicamente para mantener sus propiedades de retrorreflexión en condiciones de lluvia o humedad.

El fenómeno de la retrorreflexión en seco ya ha sido descrito en el apartado 2.3.2. y ahora se presta especial atención a la visibilidad nocturna en húmedo o bajo lluvia.

Cuando llueve, la visibilidad nocturna de las marcas viales disminuye significativamente debido a que:

1. Por una parte disminuye la iluminación sobre la zona en la que se encuentra la marca vial y de la marca vial también, debido a que sólo una porción de la luz atraviesa las gotas mientras que el resto se dispersa por sucesivas difracciones. Además la luz difractada por las gotas crea un efecto de velado (deslumbramiento); por eso no se recomienda el empleo de luces largas en esas condiciones.

2. Por otra parte, la lluvia reduce la eficacia de la luz retrorreflejada (la que debe volver al conductor).Las gotas de lluvia dispersan la luz retrorreflejada distorsionando la percepción visual; la caida sobre el parabrisas puede también enmascarar los objetos. También los limpiaparabrisas, al funcionar, pueden reducir considerablemente el campo visual del conductor casi hasta 2º.

En esas condiciones, disminuye la visión periférica del conductor por lo que la información que le llega de la carretera es la proporcionada únicamente, por la marca vial por lo que es una razón de seguridad vial el que las marcas viales, bajo esas condiciones sigan manteniendo una visibilidad suficiente. Por esta razón la Nota de Servicio 2/2007 sobre criterios de aplicación y mantenimiento de las características de la señalización horizontal de 15 de febrero de 2007, establece la obligatoriedad de aplicar marcas viales tipo II en todas las carreteras de la red del Estado, tanto en obras nuevas como en repintados.

Se han llevado a cabo gran cantidad de desarrollos con distintos diseños de marcas viales, algunos de los cuales permiten mantener parte de sus elementos reflectantes por encima de la película de agua (tales como resaltes, estructuradas, esferas gruesas, elementos retrorreflectantes de alto índice de refracción, captafaros, etc) y proporcionar una pequeña pero suficiente retrorreflexión.

Todo este grupo de marcas viales que han demostrado en el ensayo de durabilidad sus propiedades de visibilidad nocturna en tiempo de lluvia o humedad, reciben el nombre de marcas viales tipo II. Los métodos de ensayo y las clases de comportamiento se encuentran en la norma UNE EN 1436.

En todo caso, no debe olvidarse que la capacidad de drenaje de la carretera condiciona de forma significativa el espesor de la película de agua que permanece durante el período de lluvia. Una atención especial al drenaje de la carretera ayuda a mejorar notablemente la visibilidad nocturna de las marcas viales bajo condiciones de lluvia.

La característica de retrorreflexión medida en seco se identifica por la letra R; en húmedo se identifica por las letras RW y bajo lluvia se identifica por las letras RR.

Cuando llueve y la película de agua adquiere una altura sobre el pavimento suficiente para cubrir la marca vial, entonces se comportan como un espejo, y la luz incidente ya no penetra en las esferas de vidrio sino que es reflejada especularmente por la película de agua y la marca vial puede dejar de ser percibida por el conductor (véase 2.3.19).

Este fenómeno puede llegar a producirse de día y con lluvia intensa, o de noche en zonas iluminadas; pero es de noche y con la iluminación rasante de los faros de los vehículos cuando adquiere su mayor importancia. La percepción de las marcas se hace más difícil cuando los reflejos parásitos de otras fuentes luminosas próximas (deslumbramientos producidos por vehículos de frente y por nuestra propia iluminación) se multiplican. El conductor puede perder en esta situación gran parte de sus referencias visuales para definir su trayectoria y en estos casos la visibilidad de la marca vial es de vital importancia.

De hecho, una fina película de agua (humedad) sobre la marca basta para disminuir considerablemente su poder de retrorreflexión, pues ella recubre igualmente las microesferas de vidrio. Los estudios de laboratorio demuestran que incluso cuando la superficie está húmeda, la retrorreflexión puede disminuir entre un 15% y un 40%, en relación con su estado seco.

Las soluciones al problema descrito pueden afrontarse desde distintos puntos de vista a la luz de las tecnologías desarrolladas en el campo de la señalización horizontal.

3.1.3.1. Captafaros

Estos elementos son equipamientos de balizamiento y no de señalización horizontal propiamente dicha, debido a que no pueden cumplir con uno de los requisitos de las marcas viales, como es el de la regulación del tráfico (no pueden construirse líneas continuas). La eficacia visual de este sistema es alta cuando existe una alta densidad de implantación y su estado es nuevo.

Por otra parte, se trata de un dispositivo mucho más caro que las marcas viales y cuyo mantenimiento, asimismo, es muy costoso; por ello el empleo más recomendable de este sistema es para el tratamiento de intersecciones, tramos de concentración de accidentes y para la señalización temporal en desvíos y zonas de obra. No deben emplearse en zonas por donde vayan a pasar máquinas quitanieves.

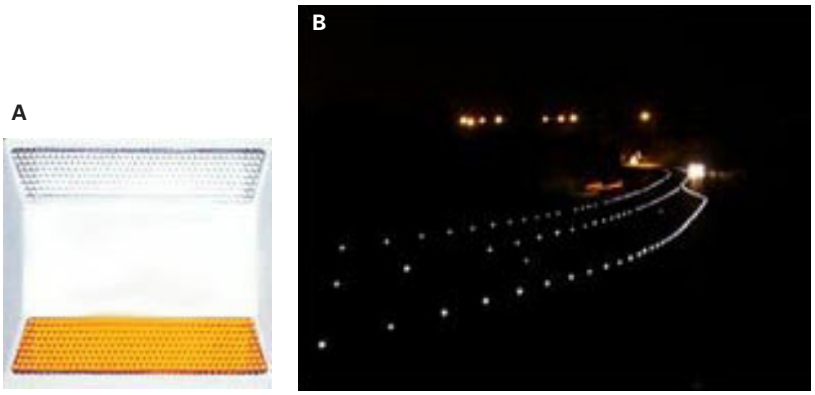


FIGURA 3.1.1. **CAPTAFAROS: A) ELEMENTO. B) INSTALADOS**

3.1.3.2. Microesferas de vidrio gruesas

Son microesferas de vidrio de diámetro muy superior a las normales que pueden incorporarse por premezclado, post-mezclado o por los dos a la vez. Requieren ser aplicadas sobre bases de productos que tengan un espesor adecuado a su diámetro y con tratamientos superficiales de mejora de adherencia, para que puedan tener una buena fijación y, en consecuencia, una buena durabilidad. De esta forma, el casquete esférico que emerge de la película soporte, también puede emerger de una ligera película de agua, como es el caso de lluvia ligera o de humedad.

La gran ventaja de este sistema es su facilidad de aplicación, pues se incorporan como las microesferas normales. Su inconveniente es la adecuación de los tratamientos superficiales para garantizar su adherencia a la película soporte.

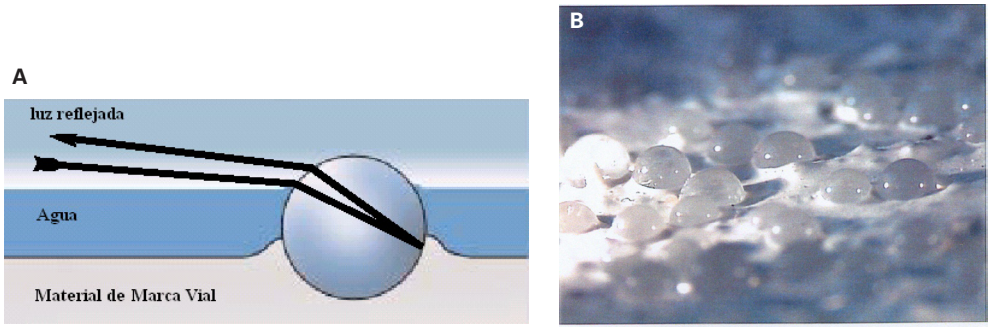


FIGURA 3.1.2. **MICROESFERAS DE VIDRIO GRUESAS. A) ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO. B) ASPECTO REAL**

3.1.3.3. Elementos ópticos de alto índice de refracción

Existen algunos desarrollos recientes sobre el uso de elementos ópticos especiales que pueden abrir nuevas posibilidades a la mejora de la retrorreflexión bajo condiciones de lluvia o mojado. De-

bido a ello estos elementos todavía no están amparados por una norma, sino por un procedimiento consensuado de aprobación técnica de EOTA (CUAP 01.06/09 y 01.06/10).

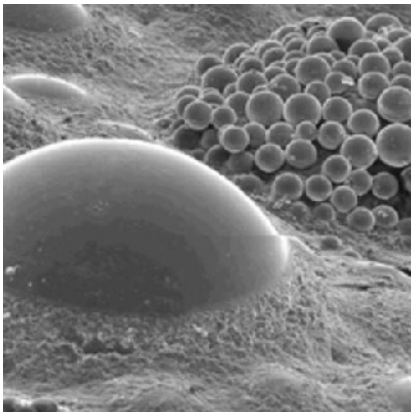


FIGURA 3.1.3. **ELEMENTO ÓPTICO DE ALTO ÍNDICE DE REFRACCIÓN (EN SEGUNDO PLANO), FRENTE A UNA ESFERA CONVENCIONAL**

3.1.3.4. Marcas viales estructuradas (con resaltes)

La tercera de las soluciones es la de producir marcas viales que presentan una superficie rugosa que facilita el drenaje del agua sobre su superficie y que, al mismo tiempo, provee al sistema de puntos emergentes (resaltes) sobre la película de agua que permiten mantener un cierto grado de retrorreflexión, incluso en condiciones de lluvia intensa.

Existen en la actualidad gran cantidad de diseños, de muy diversa geometría, que pueden dar respuesta al problema (texturas granuladas, enrejadas, barritas inclinadas, barritas transversales, botones, protuberancias rectangulares, etc.).

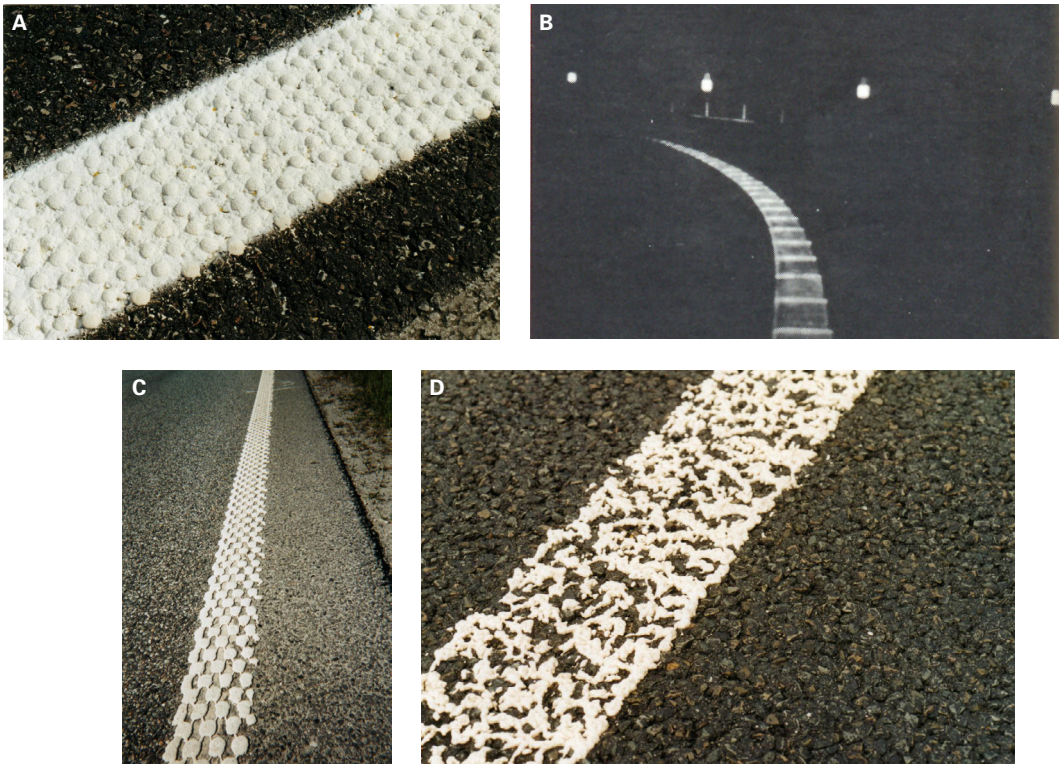


FIGURA 3.1.4. **EJEMPLOS DE MARCAS VIALES CON RESALTES (O ESTRUCTURADAS). A) BOTONES, B) BARRITAS, C) PROTUBERANCIAS, D) GOTELÉ.**

3.1.4. MARCAS VIALES ESPECIALES

3.1.4.1. Con efectos acústicos y mecánicos (sonoras)

NOTA INTRODUCTORIA:

Al hablar de marcas viales con resaltes, en el contexto de las marcas viales Tipo II resulta necesario hablar de los efectos acústicos y mecánicos que pueden producir.

En primer lugar, conviene recordar que las marcas viales, actualmente llamadas sonoras, fueron inicialmente diseñadas para mejorar la visibilidad nocturna en tiempo de lluvia, es decir, como marcas viales Tipo II y que al tener resaltes producían ruido como efecto secundario.

Este efecto secundario ha llegado a convertirse, en muchos casos, en el principal propósito del uso de estas marcas, por lo que al efecto de poder elegir bien la marca vial que se desea, conviene tener siempre en cuenta que existen:

- *Marcas viales sonoras con resaltes pero con visibilidad convencional tipo I (muy habitual pero fuera de los requisitos de la Nota de Servicio 2/2007).*
- *Marcas viales sonoras con resaltes que son al mismo tiempo tipo II (recomendadas).*
- *Marcas viales no sonoras tipo II con resaltes (tipo gotelé, por ejemplo) o sin resaltes (microesferas gruesas).*

Si se quieren añadir efectos acústicos a una marca vial tipo II de borde lateral sin resaltes se pueden colocar los resaltes, entendidos como un balizamiento, en su parte exterior (arcén) utilizando un color neutro de forma que no altere la percepción del conductor.

La sonoridad no es en sí misma un requisito de las marcas viales, ni existen definidos métodos de ensayo normalizados por lo que el efecto sonoro debe definirse por medio de la geometría de los resaltes (forma, altura y separación).

Los efectos sonoros y mecánicos se producen al rodar los vehículos sobre marcas viales estructuradas o con resaltes capaces de generar un ruido característico y transmitir vibraciones al vehículo a través de los neumáticos.

Las principales variables que afectan directamente al ruido son:

- la altura de los relieves (que determina el timbre) y
- su separación (que determina la frecuencia).

En el origen de este ruido se encuentra la vibración producida en el neumático que circula sobre los relieves y que se propaga por todo el vehículo, proporcionando también un efecto mecánico.

Las marcas viales se transforman, en un dispositivo de alerta para el conductor, que puede avisarle de posibles salidas de la calzada y evitar accidentes por salida de vía. Está probado que el efecto sonoro producido en el borde de la calzada (por la marca vial u otro dispositivo) disminuye el número de accidentes por salida de la vía. Sin embargo, hay que ser cuidadosos en esta función para que esta alerta no genere reacciones peligrosas por alarma excesiva en el conductor, ni excesiva contaminación acústica en el entorno.

Al contrario que con las propiedades ópticas de las marcas viales con resaltes, cuyos valores mínimos y métodos de medida han sido normalizados, los efectos acústicos y mecánicos de este tipo de marcas no lo han sido ni, por el momento, forma parte del programa de trabajo del Comité europeo de normalización CEN TC 226. La razón ha sido que esta prestación se considera ajena a las marcas viales y debe estudiarse en otro contexto.

La dificultad existente en el tratamiento de esta materia se debe a que aunque se puede asegurar que los factores que influyen en la eficacia acústica y mecánica de estas marcas son la altura de los resaltes y su espaciamiento también se puede comprender que entre las formas más o menos triangulares, redondeadas o rectangulares existen marcadas diferencias y que resultan difícilmente comparables. Asimismo, no es fácil establecer una ley que defina esos efectos en función de la velocidad a la que son rodados los resaltes.

Por último, no es fácil determinar los umbrales mínimos de ruido en el interior del vehículo y las vibraciones a los que son efectivamente sensibles los conductores, en función del vehículo (hay diferencias entre vehículos ligeros, pero son mucho más importantes los que hay entre éstos y los

camiones pesados). Todas estas circunstancias, impiden una modelización teórica de la geometría deseable de los resaltes si no se verifican antes experimentalmente los efectos producidos.

El Laboratorio Central de Puentes y Caminos de Francia realizó a principios de los años 90 del siglo pasado una serie de experiencias con una variada gama de geometrías de resaltes que incluían distintas combinaciones de alturas y separaciones con barritas y botones. La primera de estas experiencias tenía por objeto evaluar el efecto acústico en el interior y en el exterior del vehículo. La segunda consistía en evaluar las sensaciones (mediante encuestas) producidas en el conductor.

Entre otros, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para vehículos ligeros el incremento del nivel acústico es superior a 3 dB(A) en todos los casos. Las marcas viales más ruidosas son las barritas rectangulares de 10 mm de altura y espaciadas 1 m.
- Para camiones los incrementos, en general, son inferiores a 3 dB(A).
- Los botones son mejor valorados por los conductores de vehículos ligeros. Los mejores resultados se obtienen para alturas entre 4 y 5 mm y separaciones entre 8 y 12 cm. Sus efectos vibratorios son débiles pero no parecen ni necesarios ni deseables.
- Las barritas son mejor valoradas por los conductores de los camiones pesados, mientras que son penalizadas por los conductores de los vehículos ligeros que piensan que es un ruido demasiado fuerte.

Algunos estudios manifiestan mejoras en cuanto a la disminución de accidentes, por salida de vía, tras la aplicación de marcas viales sonoras, por lo que, su implantación puede suponer un factor de mejora añadido a la propia mejora de la visibilidad en tiempo de lluvia.

Una desventaja de este tipo de marcas con relieves es que pueden llegar a hacerse virtualmente invisibles cuando se conduce frente al sol; el contraste está influenciado por la reflexión especular y con resaltes puede llegar a ser muy bajo, debido a su bajo grado de especularidad comparado con el del pavimento adyacente. En consecuencia, las marcas viales con resaltes no están recomendadas para las líneas de eje que sean portadoras de un mensaje legal a los conductores, tales como las líneas de prohibido adelantar.

Una particularidad que puede constituir una desventaja es su mantenimiento. Los relieves tienen una vida mucho más larga que sus propiedades ópticas por lo que cada vez que hay que renovarlas (repintar) la altura del resalte es reducida, prácticamente, en el espesor de película que se aplique, lo que obliga a que:

1. El aplicador debe indicar cuál es el mantenimiento de la marca vial, al menos durante 5 años.
2. El coste de la vida útil de una marca vial con resaltes es el de la primera aplicación más el de los sucesivos repintados que puede soportar sin pérdida de sus características. Para que los resaltes puedan mantener sus prestaciones durante el largo período que dura su geometría es frecuente exigir que el material base tenga en su composición entre un 45% y un 55% de microesferas de vidrio de premezclado.
3. Si se quiere separar la alerta sonora de las propiedades ópticas en las bandas laterales puede optarse por llevar a cabo los resaltes (en color neutro, similar al del pavimento) en el borde exterior de la marca vial (arcén); de esta forma los dos efectos (visibilidad y sonoridad) pueden mantenerse por separado.

La geometría de los resaltes puede definirse por la altura, modulación, forma y presencia; en el caso de las marcas tipo gotelé por la altura y el porcentaje de superficie cubierto. Las soluciones tienen que conciliar los efectos acústicos y mecánicos de los distintos modelos geométricos (altura, separación y forma) con los de la visibilidad (diurna y nocturna y todas las condiciones climatológicas) y los de su mantenimiento, a fin de obtener los resultados prioritariamente deseados sin penalizar sensiblemente los otros.

Cuando se pretenda dar una importancia similar a las propiedades acústicas y a las de visibilidad, se recomienda el empleo de una de las soluciones siguientes:

1. Botones

La aplicación de los mejores criterios sobre efectos acústicos y mecánicos lleva a decidir sobre las opciones 4/12 ó 5/15 (altura en mm/separación en cm). Sin embargo los criterios de durabilidad y de facilidad de aplicación hacen recomendar el modelo 4/12; es decir, botones de una altura de 4 mm separados entre sí (distancia entre final de un resalte y comienzo del siguiente) 12 cm (sólo sustituible bajo estricta garantía de la altura por el sistema 5/15). Además, esta opción mejora notablemente la resistencia al deslizamiento, tanto transversal como longitudinal.

2. Barritas

Al igual que en el caso anterior, la aplicación de los mejores criterios sobre los efectos acústicos mecánicos, lleva a decidir sobre las opciones 5/20; 6/25 ó 7/30 (altura en mm/separación en cm). Sin embargo, los criterios de durabilidad y facilidad de aplicación hacen recomendar el modelo 5/20; es decir, barritas de una altura de 5 mm separadas entre si (distancia entre final de un resalte y comienzo del siguiente) 20 cm (sólo sustituible, bajo estricta garantía de la altura por el sistema 6/25). Cuando la marca vial tenga 15 cm o más de ancho, las barritas tendrán, al menos, un corte en su mitad que facilite el drenaje y el rozamiento transversal.

3. Con efecto acústico externo a la marca vial.

En realidad no forman parte de esta guía ya que no son estrictamente una marca vial pero el efecto sonoro se puede obtener también mediante bandas formadas por resaltes que tienen por único objeto proporcionar efectos acústicos y mecánicos al ser rodadas por el tráfico.

Cuando las bandas sonoras se sitúan sobre las marcas viales tienen su mismo color y el conjunto resultante es una marca vial con resaltes (que puede ser de tipo I o II). Cuando las bandas sonoras se sitúan fuera de la marca vial sus especificaciones pueden ser diferentes a las de las marcas viales y su color neutro puesto que su única finalidad es proporcionar el efecto acústico y mecánico deseado.

FIGURA 3.1.5. **PRESENCIA DE MARCA VIAL Y RESALTES POR SEPARADO**.

Este sistema tiene la ventaja de que el mantenimiento se puede hacer por separado sin que el repintado de la marca vial varíe la geometría de la marca.

3.1.4.2. De rebordeo negro

Cuando por causa de la claridad del pavimento, es necesario mejorar la relación de contraste, el rebordeo lateral se lleva a cabo con una marca vial negra. El rebordeo se realiza con un ancho

cómo mínimo de 5 cm a cada lado, y de un máximo igual a la mitad (1/2) del correspondiente a la marca vial.

La marca vial negra a emplear tiene las siguientes características:

- Índice de abrasión, para pinturas, (UNE 135203-2): $C_a \geq 0,4$
- Factor de luminancia (UNE EN 1436): $\beta \leq 0,05$
- Color (ver tabla 3.1.4)

TABLA 3.1.4. **VÉRTICES DEL POLÍGONO DE COLOR**

	1	2	3	4
x	0,385	0,300	0,260	0,345
y	0,355	0,270	0,310	0,395

Estas especificaciones nunca deben emplearse para trabajos de enmascaramiento de marcas viales puesto que no contemplan la eliminación del brillo y pueden hacerse más visibles con iluminación de frente (ver figura 2.3.7)

3.1.4.3. De enmascaramiento

Cuando por razones de temporalidad no sea imprescindible la eliminación de las marcas viales, sino simplemente su enmascaramiento durante un corto período de tiempo (por ejemplo, la duración de una obra), se deben utilizar materiales o sistemas que además de cubrir el color de la marca a ocultar, sean absorbentes de la luz para evitar su brillo especular y la consiguiente reversión de contraste. Los valores exigibles a estas marcas viales enmascaradoras son:

- factor de luminancia (UNE EN 1436): < 0,05
- brillo (UNE 48026) a 85º: < 0,40

3.1.5. Clasificación e identificación de las marcas viales por su función

Teniendo en cuenta las posibles prestaciones que pueden proporcionar las marcas viales, éstas se clasifican e identifican de acuerdo a los criterios y claves que se establecen en la tabla 3.1.5. Una marca vial puede agrupar una o más prestaciones.

TABLA 3.1.5. **CLASIFICACIÓN DE LAS MARCAS VIALES Y CLAVES DE IDENTIFICACIÓN**

PRESTACIÓN	CLAVE	CARACTERÍSTICAS
En función de su duración prevista		
PERMANENTE	P	Con un nivel de durabilidad P4 ó superior, utilizada en la señalización horizontal sobre carreteras con tráfico normal
TEMPORAL	T	Con un nivel de durabilidad P3, utilizada en la señalización horizontal sobre carreteras en obras abiertas al tráfico

PRESTACIÓN	CLAVE	CARACTERÍSTICAS
En función de sus propiedades de retrorreflexión		
TIPO 0	NR	Marca vial convencional no retrorreflectante (sólo será utilizada en el caso de las marcas B y M)
TIPO I	R	Marca vial convencional retrorreflectante en seco (las marcas viales P y T serán siempre, como mínimo, retrorreflectantes en seco)
TIPO II	RW	Marca vial, con resaltes o no, diseñada específicamente para mantener retrorreflexión en seco y con humedad
	RR	Marca vial, con resaltes o no, diseñada específicamente para mantener retrorreflexión en seco con humedad y con lluvia
En función de sus propiedades de resistencia al deslizamiento		
ESTRUCTURADAS	E	Marca vial conforme a lo definido para ellas en UNE135200 a la que no puede medirse el coeficiente de resistencia al deslizamiento
NO ESTRUCTURADAS	NE	Marca vial conforme a lo definido para ellas en UNE135200 a la que puede medirse el coeficiente de resistencia al deslizamiento
En función de otros usos especiales		
SONORAS	S	Marca vial con resaltes que provoca efectos sonoros y mecánicos (vibraciones).
FACILIDAD DE ELIMINACIÓN	F	Marca vial, tanto temporal como permanente, que puede ser «fácilmente eliminable» (UNE EN 1790 y UNE EN 1824)
REBORDEO	B	De color negro, utilizada en el rebordeo de cualquiera de las anteriores para mejorar su contraste.
ENMASCARADORA	M	Marca vial de brillo y factor de luminancia bajos, utilizada en la ocultación provisional de otras marcas viales.

Ejemplos: Tipos de marcas viales que agrupan varias funciones:
P-R: marca vial permanente retrorreflectante en seco
P-RR: marca vial permanente retrorreflectante en seco y con lluvia
P-RS: marca vial permanente retrorreflectante en seco y sonora
P-RRS: marca vial permanente retrorreflectante en seco, con lluvia y sonora.

3.2. REQUISITOS DE LA MARCA VIAL (SISTEMA) A UTILIZAR (Uso asignado a una marca vial en base a sus prestaciones)

Por uso asignado se entiende el conjunto de prestaciones que definen una marca vial.

El uso de una marca vial (sistema) se asigna considerando el conjunto de prestaciones que definen una marca vial.

El aplicador propondrá un sistema para ejecutar la obra, empleando un determinado material base, que con las instrucciones de aplicación correspondientes, deberá acreditar el cumplimiento de las prestaciones de la marca vial resultante.

La tabla 3.2.1 presenta un ejemplo de cómo definir las prestaciones exigibles a una marca vial. El responsable de la carretera tiene aquí una guía para definir el uso asignado (de alguna manera está definiendo el nivel de seguridad que desea para esta dotación) a través de las clases de marca vial, de los requisitos esenciales y de la durabilidad.

3.2.1. Requisito de clase (y tipo) del sistema a utilizar

La clase de marca vial a utilizar se define de acuerdo a lo establecido en el apartado 3.1 (tabla 3.1.5); por ejemplo, una marca vial P-RRS blanca es una marca vial blanca tipo II con visibilidad en tiempo de lluvia con prestaciones acústicas y vibratorias).

En la red de carreteras del Estado y en aplicación de la Nota de servicio 2/2007, las marcas viales deben ser permanentes (P) y tipo II (RR), excepto para el uso de marcas viales temporales por presencia de obras.

3.2.2. Requisitos esenciales del sistema a utilizar

Los requisitos esenciales de visibilidad diurna, nocturna y resistencia al deslizamiento, tiene que expresarse mediante las clases establecidas en la norma UNE EN 1436 (no se pueden pedir ni ofertar valores ni clases diferentes). En el apartado 3.3.2 (más concretamente la tabla 3.3.2) se proporciona información a este respecto.

En la red de carreteras del Estado los requisitos esenciales mínimos están definidos en el artículo 700 del PG-3.

3.2.3. Requisito de durabilidad (y rugosidad) del sistema a utilizar

La durabilidad de la marca vial (sistema) se exige por medio del correspondiente valor del factor de desgaste calculado, según lo descrito en el apartado 4.2.1. En todo caso, en la red de carreteras del Estado y en aplicación de la Nota de servicio 2/2007 las marcas viales deben tener niveles de durabilidad P6 o P7.

Debe asegurarse que la durabilidad ha sido evaluada teniendo en cuenta la rugosidad del pavimento para el que está destinado.

3.2.4. Requisitos de los aspectos generales del sistema a utilizar

3.2.4.1. Relativos a la naturaleza del pavimento

El comportamiento de la marca vial depende también de la naturaleza físico-química del pavimento por lo que se establece que:

- Los materiales que vayan a ser aplicados directamente sobre una superficie bituminosa deben cumplir el ensayo de resistencia al sangrado (UNE EN 1871), al menos con clase BR2.
- Los materiales que vayan a ser aplicados directamente sobre una superficie de hormigón deben cumplir el ensayo de resistencia a los álcalis (UNE EN 1871).

3.2.4.2. Relativos a las condiciones climáticas

Para poder dar respuesta a algunas exigencias climatológicas locales existen unos ensayos que proporcionan información sobre el comportamiento de los materiales que pueden constituir una marca vial frente a ellas (temperatura, radiación solar, etc). Para ello se tendrán en cuenta:

- A los materiales termoplásticos que vayan a ser aplicados en la red de carreteras del Estado se les debe requerír un valor mínimo de punto de reblandecimiento según UNE EN 1871 de 95 ºC (clase SP3).
- A todos los materiales que vayan a ser aplicados en la red de carreteras del Estado se les debe requerir una resistencia al envejecimiento bajo radiación UVB de 0,05 (clase UV1), según UNE EN 1871.

3.2.5. EXPRESIÓN DEL USO ASIGNADO A UNA MARCA VIAL (REQUISITOS DEL SISTEMA A UTILIZAR)

La tabla 3.2.1 presenta un ejemplo de cómo definir el uso asignado a una marca vial.

TABLA 3.2.1. **GUÍA PARA DEFINIR UN DETERMINADO «USO ASIGNADO» (REQUISITOS DE LA MARCA VIAL –SISTEMA– A UTILIZAR)**

						EJEMPLO	
CLASE DEL SISTEMA			Clase y tipo de marca vial deseada según claves de la tabla 3.1.5			*P-RR*[2]	
NATURALEZA DEL MATERIAL BASE			Pintura acrílica blanca con esferas de post-mezclado			*Pintura acrílica blanca*	
CARACTERÍSTICA					PARÁMETRO	Requisito[1]	Durabilidad[3]
SISTEMA	REQUISITOS ESENCIALES (UNE EN 1871)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	Visibilidad diurna		Factor de luminancia β ó coeficiente Qd Color (x,y)	*B3ó Q4* *pasa*	*P5*
			Visibilidad nocturna: Coeficiente de luminancia retrorreflejada R_L		en seco; en seco y húmedo R_L en seco, húmedo y lluvia	*R4* *RW3* *RR2*	*P5* *P5* *P5*
		Resistencia al deslizamiento			Coeficiente SRT	*S1*	*P5*
MATERIAL BASE	ASPECTOS GENERALES (UNE 135200)		Relativas a la naturaleza del pavimento	Bituminoso	Resistencia al sangrado	*BR2*	
				Cemento	Resistencia los álcalis	*VNR*	
				Rugosidad	Rugosidad del pavimento	*RG2*	
			Relativas a las condiciones climáticas		Punto de reblandecimiento	*VNR*	
					Envejecimiento UVB	*UV1*	

1) Los requisitos se expresarán en clases, pasa/no pasa o VNR (valor no requerido), según lo requiera el uso previsto. Los requisitos expresados en letra cursiva son sólo un ejemplo.
2) El ejemplo de la marca vial que se solicita es permanente, retrorreflectante en seco, húmedo y lluvia.
3) Para la red de carreteras del Estado, de acuerdo con lo establecido en el PG-3, la durabilidad debe evaluarse en el simulador de Desgaste.

Lo fundamental de este procedimiento es que los requisitos definidos en las últimas columnas deben estar acreditados para el sistema y material a utilizar

3.3 . REQUISITOS DE LA MARCA VIAL EN USO. DEFINICIÓN DE NIVEL DE SERVICIO

3.3.1. REQUISITOS DE COMPORTAMIENTO Y PARÁMETROS DE MEDIDA

El nivel de servicio de las marcas viales (excluidas su forma y tamaño) está definido por los requisitos esenciales de distancia de visibilidad (diurna y nocturna) y resistencia al deslizamiento. Estos requisitos se expresan mediante valores mínimos (clases) de los parámetros que las definen. A la luz de la tecnología disponible resulta más práctico medir estos parámetros que la distancia de visibilidad.

De esta forma los requisitos de comportamiento de las marcas viales y sus parámetros de medida pueden definirse y clasificarse en la forma establecida en la tabla 3.3.1.

TABLA 3.3.1. **REQUISITOS DE LAS MARCAS VIALES (UNE EN 1436)**

REQUISITO		PARÁMETRO
DISTANCIA DE VISIBILIDAD	VISIBILIDAD DIURNA	Factor de luminancia β o Coeficiente Qd (coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa) Color (x,y)
	VISIBILIDAD NOCTURNA	Coeficiente de luminancia retrorreflejada en seco R_L Coeficiente de luminancia retrorreflejada en seco y húmedo R y RW Coeficiente de luminancia retrorreflejada en seco, húmedo y lluvia R, RW y RR
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO		Coeficiente de resistencia al deslizamiento: SRT

3.3.2. Clases técnicas de comportamiento para los diferentes parámetros

La normativa europea establece que estos requisitos tienen que ser expresados mediante clases técnicas de comportamiento. La norma UNE EN 1436 especifica las clases para cada parámetro. En la tabla 3.3.2 se puede ver un resumen de ellas.

TABLA 3.3.2. **CLASES TÉCNICAS DE COMPORTAMIENTO PARA LOS DIFERENTES PARÁMETROS**

IDENTIFICACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA Y EL PARÁMETRO				CLAVE DE CLASE	NIVEL DE LA CLASE DE COMPORTAMIENTO Y SU VALOR CORRESPONDIENTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDADES DE MEDIDA Y SÍMBOLO			1	2	3	4	5	6
VISIBILIDAD DIURNA	COEFICIENTE DE LUMINANCIA EN ILUMINACIÓN DIFUSA	$mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$	Qd	Q	80	100	130	160	200	
	FACTOR DE LUMINANCIA	β		B	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	
VISIBILIDAD NOCTURNA	RETRORREFLEXIÓN EN SECO	$mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$	R_L	R	80	100	150	200	300	
	RETRORREFLEXIÓN EN SECO Y HÚMEDO	$mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$	RW	RW	25	35	50	75	100	150
	RETRORREFLEXIÓN EN SECO, HÚMEDO Y LLUVIA	$mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$	RR	RR	25	35	50	75	100	150
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO		SRT		S	45	50	55	60	65	

- A título de ejemplo, la clase R5 significa un requisito de retrorreflexión en seco de 300 $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$
- El fabricante puede no declarar una característica si no es exigible para el uso determinado y lo expresará como PND (Prestación No Determinada). El responsable de la carretera puede emplear el término VNR (Valor No Requerido)
- Es importante resaltar que el color, el factor de luminancia o el coeficiente Qd y la resistencia al deslizamiento de las marcas viales no estructuradas, junto a su durabilidad, no tienen nunca la opción PND (Prestación No Determinada)

Para el color no existen clases, sino que el requisito es que las coordenadas cromáticas de la marca vial deben estar dentro del polígono de color correspondiente definido por los vértices de la tabla 3.3.3.

TABLA 3.3.3. **VÉRTICES DE LOS POLÍGONOS DE COLOR PARA LOS COLORES BLANCO Y AMARILLO**

VÉRTICES Nº		1	2	3	4
MARCAS VIALES BLANCAS	X	0,355	0,305	0,285	0,335
	Y	0,355	0,305	0,325	0,375
MARCAS VIALES AMARILLAS TEMPORALES: CLASE Y2	X	0,494	0,545	0,465	0,427
	Y	0,427	0,455	0,535	0,483

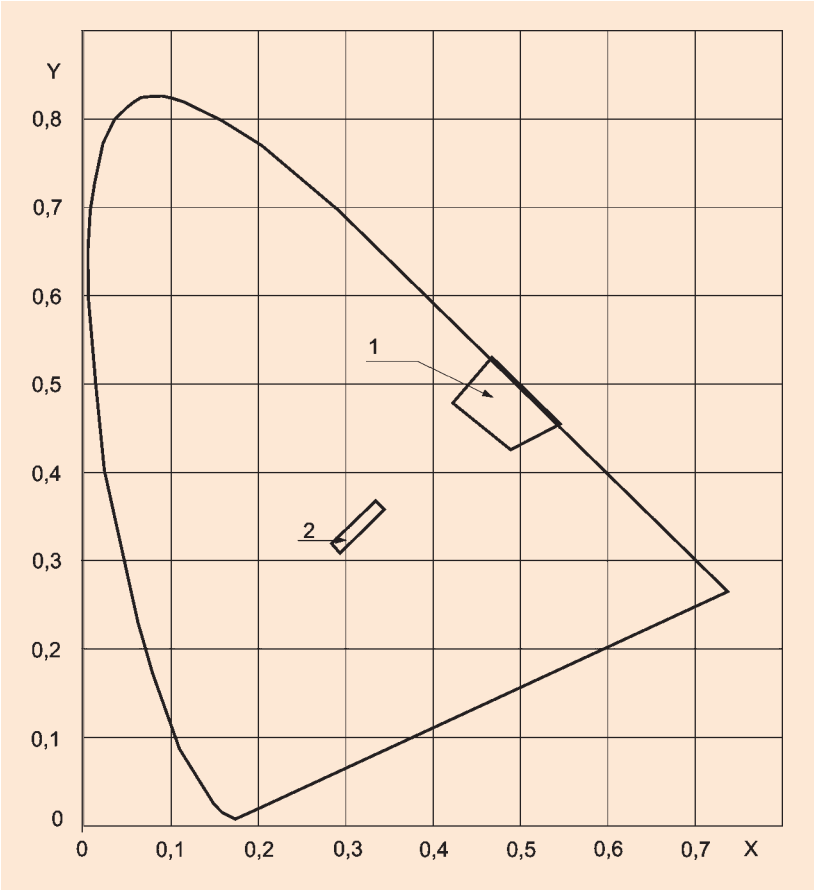


FIGURA 3.2.1. **POLÍGONOS DE COLOR AMARILLO TEMPORAL (1) Y BLANCO PERMANENTE (2)**

La normativa europea sólo contempla las marcas viales de colores blanco y amarillo, por lo que el resto de colores que se utilizan en la señalización horizontal se encuentran descritos en la norma UNE 135200 en la que se especifican los factores de luminancia y polígonos de color.

Los parámetros que definen los requisitos de visibilidad diurna, visibilidad nocturna y resistencia al deslizamiento y sus métodos de ensayo se encuentran descritos en la norma UNE EN 1436. El conjunto de valores mínimos que son de aplicación al uso asignado son los que definen el nivel de servicio de una marca vial. El nivel de servicio de la tabla 3.3.4 recoge los requisitos establecidos en el art. 700 del PG-3 y en la Nota de servicio 2/2007, en el que además de los valores mínimos se establecen los períodos en los que lo deben de cumplir.

De acuerdo con lo indicado en el apartado 4.3, referente al marcado CE, el responsable de la carretera es libre de fijar el nivel de servicio que requiera, siempre y cuando utilice los parámetros y métodos de ensayo especificados en la normativa europea y sus clases, es decir que no puede exigir más y tampoco sería necesario, ni aconsejable.

Debe tenerse en cuenta que no se pueden pedir altos valores para algunas características sin simultáneamente penalizar otras (como ejemplo la resistencia al deslizamiento obtenida con áridos antideslizantes disminuye la retrorreflexión de la marca y el factor de luminancia o el Qd).

También es posible que en alguna época (por falta de lluvia, o por actuaciones de vialidad invernal) alguna característica pueda presentar valores temporalmente inferiores a los requeridos por lo que en estas zonas y situaciones es aconsejable limpiar las marcas viales de tal forma que en ninguna situación el nivel de prestación de las diferentes características y parámetros sea inferior al especificado.

3.3.3. Expresión del nivel de servicio

La tabla 3.3.4 indica las clases correspondientes a los valores numéricos e incorpora también los requisitos para las marcas viales tipo II.

TABLA 3.3.4. **NIVEL DE SERVICIO**

TIPO DE MARCA VIAL		VISIBILIDAD NOCTURNA			VISIBILIDAD DIURNA		RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO
		Retrorreflexión R_L mcd·m^{-2}·lx^{-1} (clase)[1]			Color *(x,y)*	Factor de luminancia	Unidades SRT
		30 días	180 días	730 días[2]		β (clase)[1]	(clase)[1]
PERMANENTE	R	≥ 300 (R5)	≥ 200 (R4)	≥ 100 (R2)	Polígono único	≥ 0,30 (B2)	≥ 45 (S1)
	RW[3]	≥ 75 (RW4)	≥ 50 (RW3)	≥ 35 (RW2)			
	RR[3]	≥ 50 (RR3)	≥ 35 (RR2)	≥ 25 (RR1)			
TEMPORAL	R	≥ 150 (R3)			Polígono (Y2)	≥ 0,20 (B1)	≥ 45 (S1)
	RW[3]	≥ β35 (RW2)					
	RR[3]	≥ 25 (RR1)					

1) Referencia a la clase especificada en la Norma UNE EN 1436
2) La nota de servicio 2/2007 establece como criterio de mantenimiento preventivo el valor de 150 mcd·m^{-2}·lx^{-1}
3) Sólo cuando se solicite específicamente esta característica (marcas viales tipo II)

MATERIALES: TIPOS, CRITERIOS DE SELECCIÓN, REQUISITOS Y ACREDITACIONES

4

4.1. TIPOS

Se han tomado en consideración los siguientes materiales:

1. Pinturas.
2. Termoplásticos.
3. Plásticos en frío.
4. Marcas viales prefabricadas.
5. Materiales de post-mezclado.
   - Áridos antideslizantes.
   - Microesferas de vidrio.
6. Imprimaciones.

Las pinturas, los termoplásticos de aplicación en caliente y los plásticos en frío representan la casi totalidad del mercado de la señalización horizontal; las imprimaciones se utilizan algunas veces en repintados para mejorar la adherencia sobre superficies difíciles. Los materiales de post-mezclado se usan en conjunción con éstos para proporcionarles características de retrorreflexión y resistencia al deslizamiento mejoradas.

Las marcas viales prefabricadas (fundamentalmente las cintas) son siempre una alternativa y se pueden utilizar tanto en señalización permanente como en temporal. Están especialmente recomendadas cuando la señalización requiere, además, la propiedad de facilidad de eliminación.

Para entender mejor el funcionamiento de una película de pintura, termoplástico o plástico en frío, se puede comparar, a pequeña escala, con una capa de pavimento bituminoso en el que la función del betún y sus agentes modificantes lo realiza la resina y sus propios agentes modificantes y el de los áridos lo realizan las cargas minerales y pigmentos. La función del disolvente en la pintura es la de vehículo que facilita su aplicación y se elimina posteriormente por evaporación. Las características químicas dependen de la naturaleza de la resina (alcídica, acrílica, etc) y las propiedades mecánicas dependerán de las propiedades del polímero formado pero también, en gran medida de las cargas minerales en lo que se refiere a su dureza y su grado de compactación. Esto es de especial importancia en el caso de los termoplásticos en el que entran a formar parte esferas de vidrio y cargas de tamaños superior a 1 mm.

Siguiendo con el ejemplo de un pavimento bituminoso, cada sistema de cargas (áridos) requiere una proporción determinada de ligante, ni más ni menos, por lo que no tiene sentido solicitar contenidos mínimos en pigmentos o ligantes. La declaración de contenidos debe hacerse únicamente a efectos de identificación.

4.1.1. PINTURAS

Están constituidas por una parte inorgánica formada por partículas de pigmento y otros productos minerales (llamados cargas) de naturaleza y forma diversa y granulometría muy fina, que se

han dispersado en un medio líquido formado por una parte volátil (disolvente orgánico o acuoso) y una parte no volátil (resina ó ligante).

El pigmento es el responsable de proporcionar el color (por ejemplo el dióxido de titanio en el caso de pinturas blancas) mientras que las cargas minerales, que son productos naturales como cuarzo, carbonato cálcico, etc. finamente molidos hasta tamaños de partículas de 5 a 10 micras, son las responsables de las propiedades mecánicas de la película.

La resina o ligante cumple la función de aglutinar los pigmentos y las cargas minerales recubriendo las partículas de los mismos y proporcionando la adherencia al pavimento, mientras que los disolventes cumplen la función de disponer el producto para su uso dándole las propiedades de aplicación precisas, para después evaporarse en mayor o menor tiempo.

Se aplican por pulverización con o sin aire (esta última conocida como técnica *airless*) en capas relativamente finas (0,3/0,4 mm). Sobre la línea recién extendida se proyectan microesferas de vidrio para conseguir visibilidad nocturna. Según su proceso de secado, se dividen en: de secado físico y de secado físico-químico.

4.1.1.1. Pinturas de secado físico

Secan por evaporación del disolvente adquiriendo la película en pocos minutos una considerable dureza, dado que el polímero está ya formado, siendo las que menor tiempo de protección requieren para su puesta en servicio. Las más utilizadas son de dos clases:

1. **Acrílicas en disolvente**, cuyo ligante está basado exclusivamente en monómeros acrílicos (acrílicas puras), o en una combinación con otros polímeros de distinta naturaleza como por ejemplo el estireno (acrílicas estirenadas), disueltos en disolventes orgánicos. La combinación de monómeros acrílicos con otras resinas como el estireno, permite tener un precio más bajo y mejorar algunas propiedades, como la resistencia a las grasas.

   Su característica diferencial más notable es su rápido secado y endurecimiento en profundidad, además de poseer buena resistencia a la radiación U.V., versatilidad de aplicación y buen comportamiento sobre pavimentos bituminosos sin riesgo de «sangrado» en el caso de las acrílicas puras. En cambio son sensibles a grasas, aceites y disolventes orgánicos.

2. **Emulsiones acuosas**, cuyo ligante es un polímero acrílico cuyas partículas, de tamaño menor de una micra, emulsionadas en agua en presencia de sustancias tensoactivas y de coalescentes que favorecen la formación de la película cuando el agua se evapora.

   Su tiempo de secado es bastante mayor que el de las pinturas con disolventes orgánicos y se encuentra muy condicionado por las condiciones climáticas; la pequeña proporción de disolventes orgánicos que contienen, hace que sean considerados como productos más respetuosos con el medio ambiente.

   Durante los primeros días, su resistencia al desgaste es muy baja debido a que tarda en adquirir la dureza necesaria, por lo que no se aconseja su aplicación en zonas en las que vayan a ser rodadas antes de este período de tiempo; debido a ello son raramente usadas en señalización de vías para el tránsito de vehículos, encontrando en cambio una aplicación más frecuente en señalización aeroportuaria.

   Se aplican muy fácilmente y, una vez que han adquirido la dureza final, poseen buenas propiedades mecánicas y de retención de color, no producen efectos de sangrado sobre pavimentos bituminosos y pueden usarse directamente sobre pavimentos de hormigón.

4.1.1.2. Pinturas de secado físico-químico

Estas pinturas secan mediante dos procesos, la evaporación del disolvente y la polimerización del ligante, que comienzan simultáneamente en el momento de la aplicación. El primero de ellos es

idéntico al caso anterior, mientras que el segundo provoca la formación de cadenas macromoleculares de ligante por un proceso reactivo que tiene lugar en presencia de otro componente, llamado endurecedor, o con el oxígeno del aire en presencia de catalizadores llamados secantes, como en el caso de las resinas alcídicas.

La película sólo adquiere su dureza final una vez que se ha completado este segundo proceso, lo que sucede después de un tiempo, que depende de la naturaleza del ligante y del tipo de reacción de polimerización, y que puede oscilar entre unos minutos y varios días.

En este grupo se clasifican las pinturas basadas en ligantes con grupos reactivos que precisan la acción de otro agente para endurecer, como las resinas epoxídicas (aunque apenas se usan en señalización), y aquellas cuyo endurecimiento es oxidativo como las alcídicas, que pueden considerarse como los productos más característicos de este tipo.

Pueden encuadrarse también en este apartado las pinturas acrílicas autorreticulables en base acuosa, cuyo proceso de curado combina la evaporación de parte del agua de su composición con un proceso de reticulación de monómeros que consume otra parte del agua que no evapora.

1. **Pinturas alcídicas**. El ligante está formado por un producto obtenido por la reacción entre un alcohol polihidroxílico (como la glicerina o la pentaeritrita) y un ácido policarboxílico (como el anhídrido ftálico), combinados con ácidos de aceites secantes o semisecantes en diferentes proporciones, que se unen a las moléculas de resina por esterificación durante la fabricación del compuesto y se convierten en parte integrante del polímero, proporcionándole flexibilidad y capacidad de adherencia.

   El proceso de secado físico es algo más lento que en las acrílicas, por la afinidad del polímero con los disolventes que son parcialmente retenidos en la película, mientras que el secado oxidativo transcurre durante un plazo más largo y variable, que depende tanto de factores climáticos como de la composición del producto, y de la presencia de algunos aditivos catalizadores de la reacción llamados secantes.

   En condiciones climáticas normales y temperaturas entre 15 ºC y 25 ºC, la película alcanza una dureza suficiente para su uso en líneas longitudinales de vías interurbanas en poco más de una hora, aunque su resistencia al desgaste es todavía baja, lo que no la hace aconsejable para las zonas urbanas. Una vez que ha curado completamente posee una excelente resistencia al desgaste y a los agentes químicos, muy superior a las acrílicas, unido a una muy buena retención de las microesferas de vidrio.

   Aunque los disolventes usados en su formulación sean adecuados, este tipo de pinturas pueden atacar al pavimento, liberando partículas de carbón que se pueden incorporar como pigmento a la película de pintura y migrar en mayor o menor medida a su superficie provocando en ella un cambio de color. Este efecto, que se conoce como «sangrado» y depende también del tipo y naturaleza de los componentes de la mezcla bituminosa, se produce por causa del disolvente retenido en la película por su afinidad con la resina alcídica y, aunque beneficia la adherencia, puede provocar fisuras en el pavimento porque la rigidez de la película de pintura puede ser muy superior a la de aquel.

   Asimismo la presencia de un cierto residuo ácido debido a los grupos insaturados del poliácido de la resina, las hace inadecuadas para su aplicación directa sobre pavimentos de hormigón, en los que sufre una reacción de saponificación que destruye la película.

   A pesar de estos inconvenientes las pinturas alcídicas son muy utilizadas en España por el buen equilibrio del conjunto de sus propiedades y presentar una excelente relación calidad/precio.

2. **Emulsiones acuosas autorreticulables de secado rápido**, en las que el ligante está formado por monómeros acrílicos emulsionados en medio acuoso fuertemente alcalino, en el que la presencia de otras sustancias provoca la formación de un polímero complejo cuando se reduce la alcalinidad por evaporación del amoníaco presente.

La transformación de los monómeros en emulsión en un film polimérico se produce por una reacción cuya secuencia se encuentra protegida por una patente, consume una parte del agua

de fórmula y se produce en un corto espacio de tiempo aun en condiciones ambientales desfavorables (alta humedad relativa).

En condiciones ambientales favorables pueden alcanzarse tiempos de secado de dos o tres minutos, por lo que su puesta en servicio se puede producir casi de inmediato y poseen unas excelentes propiedades de retención del color, buena resistencia a la intemperie y afinidad con las microesferas de vidrio y pueden ser aplicadas directamente sobre pavimentos de hormigón.

4.1.2. Termoplásticos

Se trata de una mezcla compuesta por sustancias minerales de granulometría gruesa (hasta 700 micras), una resina y un plastificante ambos en forma sólida granular ó en escamas; contienen también microesferas de vidrio premezcladas, un aceite mineral especial que ayuda a controlar la viscosidad de aplicación y plastificar el conjunto y un pigmento que le da el color.

Las resinas más usadas son polímeros alifáticos de olefinas de cinco átomos de carbono obtenidas en la destilación del petróleo y las resinas derivadas de la colofonia. También se usan resinas alcídicas modificadas, maleicas y fenólicas, especialmente en climas cálidos y tropicales.

En todos los casos son resinas de tipo termoplástico, sólidas a temperatura ambiente que se reblandecen con el calor pasando a líquidas, y retornan de nuevo al estado sólido al enfriarse, y no pueden aplicarse directamente sobre pavimentos de hormigón.

Los materiales de carga o áridos son de naturaleza idéntica a los utilizados con las pinturas, pero de granulometría mucho más gruesa; el pigmento es el dióxido de titanio en el color blanco y el cromato de plomo estabilizado, para soportar las altas temperaturas, en el amarillo.

En el proceso de producción de los materiales termoplásticos se incorpora una cantidad variable de microesferas de vidrio que asegura su permanencia en la marca vial durante toda su vida útil, lo que hace de ellos una de las mejores alternativas para una retrorreflexión duradera, ya que el desgaste natural de la marca vial las va haciendo aparecer paulatinamente.

Es necesario entender que estos materiales basan su comportamiento precisamente en el desgaste. El comportamiento inicial depende de la aplicación, es decir, de las microesferas de post-mezclado pero éstas tienen un vida útil muy corta que es función del tráfico que soportan (puede oscilar entre 1 y 6 meses). Al cabo de ese corto tiempo esas esferas de post-mezclado desaparecen y es el momento en el que el comportamiento pasa a depender del producto más que de la aplicación, al empezar a trabajar las esferas de pre-mezclado.

De hecho son los materiales con los que se logran los mayores niveles de visibilidad nocturna al cabo de su vida útil, pudiendo alcanzarse valores de mas de 400 $mcd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$ después de soportar cuatro millones de pasos de rueda en el ensayo de durabilidad.

Los materiales termoplásticos carecen de disolventes y es el calor el que fluidifica el producto para permitir su aplicación, una vez realizada la aplicación sobre la carretera se vuelven sólidos de manera inmediata, permitiendo la apertura al tráfico en unos pocos segundos, lo que constituye su característica más singular y otra de sus más notables ventajas de empleo.

Tanto desde el punto de vista de sus constituyentes como de su comportamiento de uso, no hay diferencias significativas entre los distintos productos para clasificarlos por estos criterios. Por ello se pueden clasificar atendiendo al método de aplicación, conforme a lo cual se habla de materiales aplicados por pulverización y por extrusión.

4.1.2.1. Termoplásticos aplicables por pulverización (Sprayplásticos)

En este modo de aplicación la masa de material previamente calentada (180 ºC a 220 ºC), se aplica pulverizada como una pintura líquida con pistolas especiales, produciendo un espesor de

película que suele estar comprendido entre 1,2 y 1,7 mm, al tiempo que se proyectan a presión microesferas de vidrio que deben penetrar adecuadamente para asegurar la retrorreflexión inicial.

Las microesferas proyectadas tienen una limitada permanencia sobre la marca vial debido a su escasa penetración y débil adherencia y en general se desprenden en los primeros meses de uso por la acción del tráfico.

A medida que estas esferas se desprenden van apareciendo las de premezclado por la acción de desgaste natural de estos productos, de manera que el nivel de retrorreflexión permanece en niveles altos constantemente.

Su empleo está especialmente indicado en líneas de separación de carriles de zonas con alta intensidad de tráfico, ya que su alto espesor de película las hace mucho más duraderas que las que se hacen con pinturas, y su aplicación apenas entorpece el tráfico ya que su endurecimiento es de unos segundos y prácticamente no precisan ser protegidos para su puesta en servicio.

4.1.2.2. Termoplásticos aplicables por extrusión

En este caso, la masa de material se aplica sin presión, por «colada» o mediante dispositivos que colocan el material sobre el pavimento en la forma y dimensiones deseadas, una vez alcanzada su temperatura de aplicación que suele ser ligeramente más baja que en el caso del pulverizado.

La extensión del producto puede realizarse mediante un dispositivo en forma de caja que se arrastra sobre el pavimento, con una abertura en su parte posterior por la que sale el material de forma controlada, formando una línea continua muy uniforme, de geometría muy precisa, con un espesor de película superior al caso del pulverizado que puede alcanzar hasta 3 y 4 mm.

Otros dispositivos aplican el material en forma de «resaltes» o «pastillas» que se disponen sobre el pavimento de diversas formas y a intervalos elegidos. El objeto de este tipo de aplicación es producir una señal «con relieve» que mejora la visibilidad en tiempo de lluvia al emerger sobre la película de agua que llega a cubrir las señales de menor espesor; además mejoran la seguridad del tráfico por la sonoridad y vibraciones que producen cuando los vehículos pasan sobre ellas, lo que advierte de una posible salida de la calzada.

Las líneas del borde de la calzada dotadas de señalización en relieve, han puesto de manifiesto su gran contribución a la seguridad vial por el efecto sonoro y de vibración que producen cuando se circula sobre ellas, de manera que estudios de seguridad vial realizados en tramos de carreteras a los que se ha dotado de estos dispositivos, han puesto de manifiesto una reducción de los accidentes por salida de la calzada sin intervención de otros vehículos.

El mecanismo de la retrorreflexión es igual al caso de los materiales pulverizados.

4.1.3. PLÁSTICOS EN FRÍO

La característica particular de estos materiales es su presentación en dos componentes, que han de ser mezclados para su uso, ya que endurecen por reacción química entre ambos.

Sus constituyentes son genéricamente los mismos que los de los otros productos, con las particularidades que cada una de las distintas formas de aplicación requiere. La resina base más usada es el metacrilato de metilo, que se utiliza disuelto en su propio monómero acrílico, el cual se polimeriza por la acción de un iniciador de la reacción como el peróxido de benzoílo. También se emplean mezclas de resinas de metacrilato y poliésteres, especialmente en los materiales de aplicación manual.

No contienen disolventes y su tiempo de endurecimiento o curado, es prácticamente independiente de la dosificación y sólo depende de la temperatura; incluso un aumento de la dosificación reduce el tiempo de curado, que en condiciones normales es inferior a 30 minutos.

Los plásticos en frío o sistemas de dos componentes son los productos que poseen las mejores propiedades desde el punto de vista técnico; su dureza y resistencia al desgaste y a los agentes

químicos es mucho mayor que la de pinturas y termoplásticos en caliente, alcanzando una vida útil superior a cuatro o cinco años, incluso en condiciones de tráfico muy intenso.

El material se entrega listo para el uso; solo es necesario mezclar los componentes hasta conseguir una perfecta homogeneidad, y aplicar el producto antes de sobrepasar el tiempo de vida útil (variable dependiendo de la mezcla de los productos y de la temperatura), transcurrido el cual el producto no puede usarse porque habrá endurecido. Deben seguirse las instrucciones respecto a las proporciones de mezcla de los componentes, ya que una alteración notable puede reducir sensiblemente la durabilidad.

Son adecuados para todo tipo de pavimentos, incluso los de hormigón, y como en los demás casos su adherencia es mejor sobre los bituminosos. Se usan también para la realización de señalización en relieve, adoptando diversas formas y usos, especialmente en las ciudades.

Como en el caso de los termoplásticos en caliente se clasifican los productos de acuerdo con el método de aplicación, ya que la naturaleza de sus componentes y la composición básica de los diferentes tipos son muy semejantes; las diferencias se centran en el tamaño de partícula de las cargas, la viscosidad, y la composición del endurecedor, que son las adecuadas al uso y tipo de señalización. Se distinguen dos clases: de aplicación manual y con máquina.

4.1.3.1. Plásticos en frío de aplicación manual

El componente base presenta un aspecto viscoso, con alta tixotropía para evitar la sedimentación en el envase de las partículas gruesas de las cargas que contiene (hasta 1mm) y favorecer la aplicación controlando el extendido.

Para su empleo se mezcla con aproximadamente el 1,2 % en peso de iniciador o endurecedor, se vierte sobre el pavimento y se extiende por medio de una paleta, llana ó extrusor manual en capas gruesas de unos 2 a 3 mm, formando una película de aproximadamente el mismo espesor que la aplicada en capa húmeda ya que su extracto seco es 100 %.

4.1.3.2. Plásticos en frío de aplicación a máquina

En este caso el aspecto de los componentes es muy parecido al de las pinturas, pero la película aplicada tiene un espesor dos o tres veces mayor (0,60 a 1 mm) ya que se suele aplicar con dosificaciones de 1 a 1,5 kg/m^2 y no contienen disolventes que se evaporen.

Las proporciones de mezcla de los componentes dependen del tipo de máquina, siendo posible una amplia gama que va desde una mezcla a partes iguales de componente A y B, pasando por 4 partes de componente A para una parte de componente B (en el que se incluye el peróxido iniciador), hasta 98 partes de componente A para 2 partes de componente B, que en este caso es exclusivamente peróxido iniciador.

Las máquinas de aplicación son generalmente de pulverización sin aire (*airless*) y en su aplicación es de suma importancia el perfecto control de las dosificaciones de los componentes; actualmente existen en el mercado máquinas que realizan la mezcla externamente evitando así problemas de limpieza.

4.1.4. Cintas y marcas viales prefabricadas

Las cintas y marcas viales prefabricadas, están formadas por una parte mineral inorgánica (que comprende el pigmento, las cargas, y algún árido abrasivo en grano grueso para mejorar su resistencia al deslizamiento), y una parte orgánica constituida por un polímero plástico en forma sólida (por ejemplo poliuretanos o cloruro de polivinilo), estable a la acción de los rayos ultravioleta de la luz y adecuadamente plastificada.

Son verdaderas marcas viales de entre 1,5 a 3 mm de espesor, listas para instalarse mediante calor o adhesivos. Las reflectantes tienen microesferas de vidrio distribuidas y adheridas en su superficie que proporcionan valores de retrorreflexión muy altos y duraderos.

Existen otras construidas a base de una fina lámina de aluminio sobre la que se «encola» la parte mineral por una cara y una cola adhesiva en la otra, que se utilizan en señalización provisional por su condición de fácilmente eliminables.

Su colocación sobre la calzada es más lenta y compleja que la de los productos anteriores y requiere el empleo de algún producto adhesivo, que se suministra por separado o que puede estar dispuesto en el propio material. A veces precisan de un calentamiento previo tanto de la banda como del pavimento y/o de la presión. Se trata de una operación delicada, que requiere de personal altamente especializado, de la que depende en buena medida la duración.

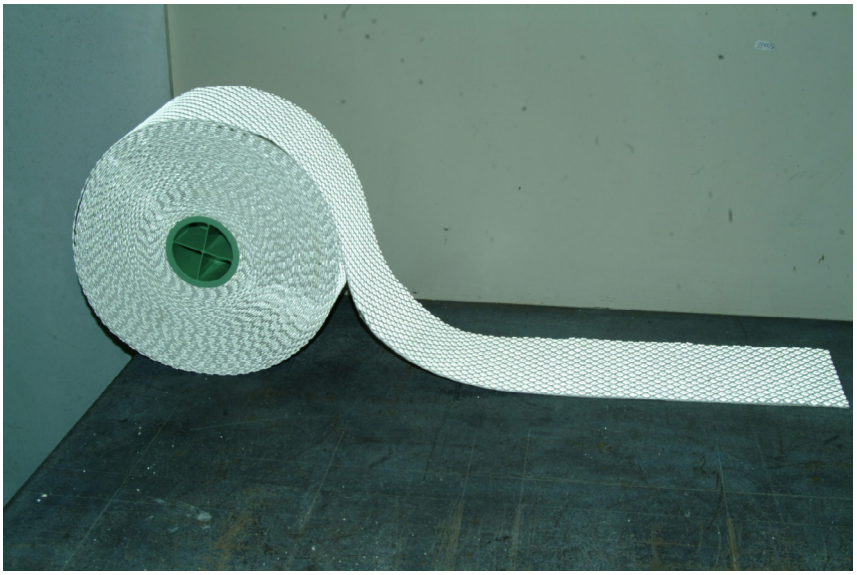


FIGURA 4.1.1. **FORMA DE PRESENTACIÓN DE UNA CINTA PREFABRICADA**

4.1.5. MATERIALES DE POST-MEZCLADO

4.1.5.1. Microesferas de vidrio

Las marcas viales son visibles durante la noche gracias a que las microesferas de vidrio que las líneas y símbolos llevan incorporadas devuelven una parte de la luz que proviene de los faros de los vehículos, constituyéndose por lo tanto en un elemento decisivo para la seguridad vial.

Por la importancia de su función en la visibilidad nocturna, las normativas sobre señalización caracterizan estos productos, limitando su granulometría, el porcentaje de unidades defectuosas admisible, su resistencia a sales y otros agentes químicos y su índice de refracción, además de especificar la cantidad mínima por metro cuadrado que debe añadirse sobre la marca vial para asegurar un nivel mínimo de calidad del factor de la retrorreflexión.

La granulometría elegida debe ser adecuada al espesor de la película del producto sobre el que se aplican, ya que si son demasiado gruesas son arrancadas de la superficie rápidamente por las ruedas de los vehículos, y las demasiado finas se hunden en la película, sin que tengan un efecto inmediato en la visibilidad.

La función que realizan las microesferas de vidrio ha sido tratada en el apartado 2.3.2, al afectar directamente al fenómeno de la visibilidad nocturna. En ese mismo capítulo se menciona que las propiedades de las que depende el grado de hundimiento de las microesferas pueden alterarse mediante la aplicación de tratamientos superficiales.

Actualmente se dispone de esferas con tratamientos superficiales, que tienen en cuenta las características de los materiales a los que van destinadas tanto si son en base solvente como en base acuosa, y permiten controlar el grado de hundimiento o «flotación» de las esferas en la película de material para evitar su rápido desprendimiento.

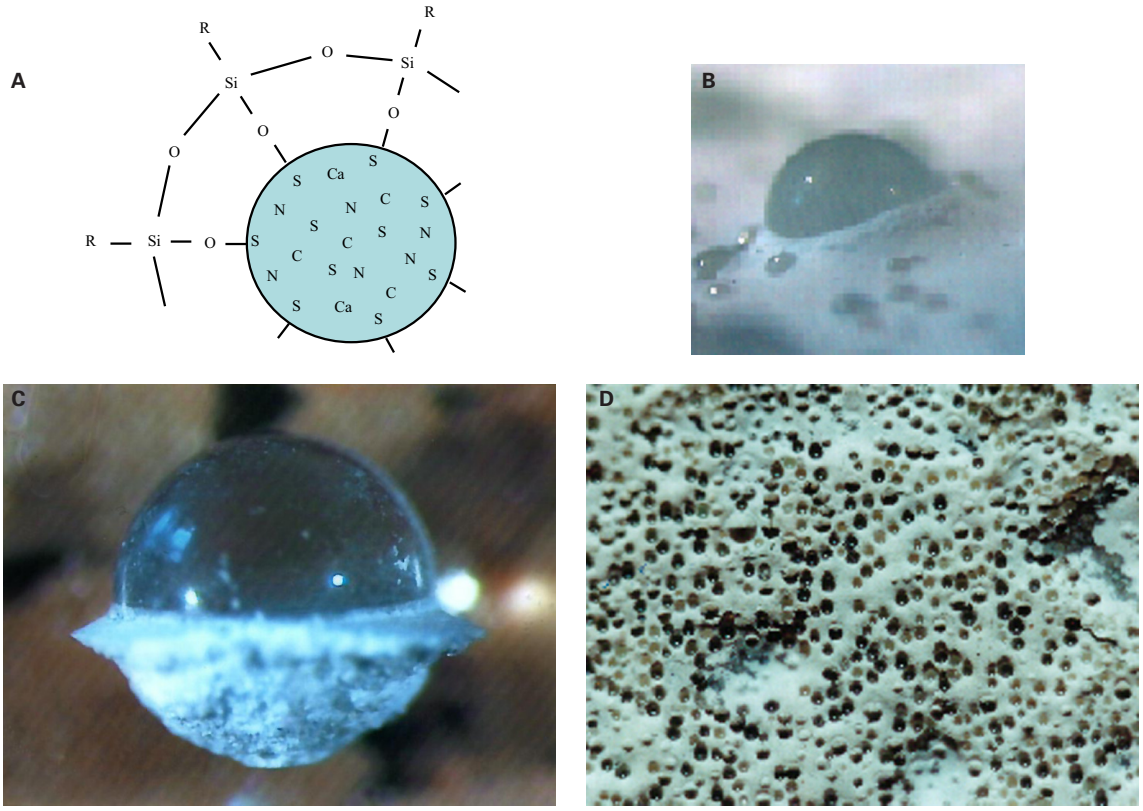


FIGURA 4.1.2. **TRATAMIENTO DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO. A) ESQUEMA DE LOS PUENTES DE ENLACE QUÍMICOS QUE FORMA EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL, B) MENISCO CONVERGENTE FORMADO POR EL MATERIAL BASE SOBRE LA ESFERA QUE DEMUESTRA LA AFINIDAD Y MOJABILIDAD (MENOR TENSIÓN SUPERFICIAL), C) MATERIAL BASE ADHERIDO A UNA MICROESFERA QUE HA SIDO ARRANCADA DE LA PELÍCULA (DEMUESTRA LA ADHERENCIA), D) CAPA DE PINTURA CON MICROESFERAS DE VIDRIO SIN TRATAMIENTO SUPERFICIAL**

Lo mismo puede decirse del tratamiento de adherencia, que mejora la retención de la esfera en la marca vial actuando como un verdadero adhesivo, para lo que se precisa un tratamiento con un producto de naturaleza afín a la resina del material de señalización. Con frecuencia ambos tratamientos de adherencia y flotación están presentes al mismo tiempo, al ser el sistema más eficaz en la mayoría de los casos.

Los tratamientos superficiales tienen como función aproximar la tensión superficial a la del material base. Se llevan a cabo a base de silanos que tienen la misión de formar enlaces químicos entre el vidrio y el ligante del material base, mejorando de esta forma notablemente la durabilidad del sistema.

4.1.5.2. Áridos antideslizantes

Se trata de productos minerales destinados a ser esparcidos sobre la superficie de los materiales de señalización de modo similar a como se hace con las microesferas de vidrio (e incluso mezclados con ellas), para obtener una textura superficial que evite el deslizamiento cuando el pavimento está mojado. El tamaño de grano debe estar en relación con el espesor de la película del material aplicado. Los materiales más utilizados son la cristobalita, que es una sílice de color blanco y grano con múltiples aristas y el grano de vidrio. Tienen que ser de granulometría superior a la de las microesferas de vidrio, para que sobresalgan de ellas y cumplan su función.

Deben añadirse en la proporción precisa, ya que un exceso solo trae consecuencias negativas al ensuciar la marca vial, siendo suficientes, según los casos, entre 80 y 200 g/m² para obtener buenos resultados. Hay que tener en cuenta que la adición de áridos antideslizantes disminuye no sólo la luminancia de la marca sino también la retrorreflexión, ya que son partículas que invaden las posiciones que deberían ocupar las esferas y que además pueden crean zonas de sombra que convierten a otras esferas en ineficaces.

Se emplean también otros materiales como corindón pero hay que tener precaución de que no raye a las microesferas de vidrio, ya que es más duro que ellas y puede provocar su opacidad .

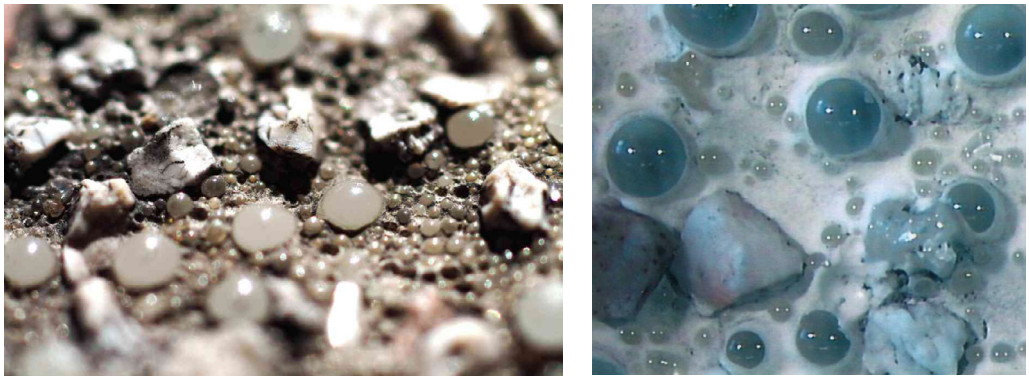


FIGURA 4.1.3. **MARCAS VIALES CON ÁRIDOS ANTIDESLIZANTES Y MICROESFERAS DE VIDRIO DE VARIOS TAMAÑOS**

4.1.6. IMPRIMACIONES

Se denominan con este nombre a los productos que se emplean como primera capa sobre la que posteriormente se aplica el producto definitivo, y que están constituidas por resinas sintéticas en disolución, cuya naturaleza guarda relación con el fin para el que son aplicadas.

Permiten resolver las dificultades que se presentan a los materiales de señalización cuando son aplicados sobre superficies muy pulidas, en las que la falta de porosidad y macrotextura impide una buena adherencia, como es el caso de pavimentos antiguos y cerrados .

Sirven asimismo como barrera protectora para los materiales sensibles a determinadas características de ciertos pavimentos. Tal es el caso de los de hormigón, cuya alcalinidad es incompatible con los ligantes saponificables de algunos materiales de señalización (por ejemplo las resinas alcídicas), a los que destruyen reaccionando químicamente con ellos.

Pueden usarse lacas transparentes o a veces pinturas negras que, aplicadas con sobreancho cumplen la doble función de hacer de capa puente (realmente imprimación) y de marca de rebordeo. Cuando el problema es de escasa porosidad o falta de aireación, la aplicación de una primera mano con la misma pintura diluida a un 50%, puede resultar de gran utilidad.

En los casos en los que el pavimento es de mezcla bituminosa recién aplicada e incluso todavía caliente, pero que por razones de seguridad vial debe señalizarse, se recomienda la aplicación de una primera mano de la misma pintura, sin diluir, con una dosificación de un 60%.

4.1.7. RECOMENDACIONES DE USO DE LOS DISTINTOS MATERIALES

En el apartado 2.4.1 se proporciona información sobre los ensayos a los que se someten los materiales para valorar sus aspectos relativos a la compatibilidad con pavimentos bituminosos o de cemento (pintado nuevo) y a su adecuación a las condiciones climáticas.

En este, se describen las características generales de los materiales y los criterios de selección en base a la determinación del factor de desgaste y el consiguiente requisito de durabilidad y a la compatibilidad con otros materiales (repintado).

La aplicación de cada uno de los materiales debe hacerse siguiendo las instrucciones que figuran en la acreditación del sistema del que forma parte (véase apartado 4.3.9). En todo caso para la valoración de las distintas unidades y cuando se deseen especificar dosificaciones la tabla 4.1.1 proporciona una lista de dosificaciones estándar para los distintos materiales.

TABLA 4.1.1. **DOSIFICACIONES ESTÁNDAR PARA MARCAS VIALES PERMANENTES**

MATERIAL BASE	DOSIFICACIÓN g/m²	CONSUMO DE MATERIALES DE POSTMEZCLADO g/m² (MICROESFERAS DE VIDRIO+ CARGAS ANTIDESLIZANTES)
PINTURAS	720	480
TERMOPLÁSTICOS EN CAPA FINA	3 000	500
TERMOPLÁSTICOS EN CAPA GRUESA	5 000	500
PLÁSTICOS EN FRÍO EN DOS COMPONENTES EN CAPA FINA	1 000	500
PLÁSTICOS EN FRÍO EN DOS COMPONENTES EN CAPA GRUESA	3 000	500

En la tabla 4.1.2 se proporciona información adicional sobre las recomendaciones de uso de los distintos materiales haciendo un resumen de las principales ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

Estas recomendaciones de uso se proporcionan en base a criterios de comportamiento general de los materiales. Dentro de cada familia pueden existir productos específicos que proporcionen bajo las condiciones particulares de uso de una carretera o red resultados diferentes que sólo la experiencia local y un seguimiento sistemático y periódico son capaces de evaluar. La creación y el mantenimiento de una base de datos con los resultados de este seguimiento constituye el mejor elemento de decisión para la selección de los materiales.

En todo caso, tan importante o más que la selección de los materiales es el uso que se hace de ellos y fundamentalmente del cumplimiento de las dosificaciones establecidas y la distribución homogénea de los materiales tanto transversal como longitudinal, por lo que es imprescindible completar tanto el control de los propios materiales como el de su aplicación.

4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN (DURABILIDAD Y COMPATIBILIDAD)

La selección de la clase de material más idónea para cada aplicación de marca vial se lleva a cabo en dos fases:

- Determinación del nivel de durabilidad, de acuerdo al factor de desgaste.
- Determinación de la naturaleza del material, según la compatibilidad con el pavimento.

4.2.1. Factor de desgaste. Determinación del nivel de durabilidad

Factor de desgaste: Es el valor resultante de la suma de los cuatro valores individuales asignados en la tabla 4.2.1.1 a todas y cada una de las características que se exponen en dicha tabla. El factor de desgaste se determina según lo especificado en el artículo 700 del PG-3.

TABLA 4.1.2. **RECOMENDACIONES DE USO DE DIFERENTES MATERIALES BASE**

MATERIAL		VENTAJAS	INCONVENIENTES
PINTURA (*)	ALCÍDICA	BUENA AFINIDAD Y ADHERENCIA SOBRE PAVIMENTOS BITUMINOSOS. ALTA RESISTENCIA A LA INTEMPERIE Y A LA ABRASIÓN UNA VEZ COMPLETADO EL PROCESO DE SECADO. EXCELENTE RELACIÓN CALIDAD-PRECIO. BUENA RETENCIÓN DEL COLOR Y DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO	INCOMPATIBILIDAD CON PAVIMENTOS DE HORMIGÓN. ESCASA RESISTENCIA AL DESGASTE EN LOS PRIMEROS DÍAS POR SU LENTO ENDURECIMIENTO. (EXCEPCIONES) POSIBILIDAD DE PROVOCAR SANGRADOS SOBRE PAVIMENTOS BITUMINOSOS. HIDROLIZABLES BAJO EL EFECTOS DE SALES EMPLEADAS EN MANTENIMIENTO INVERNAL
	ACRÍLICA	COMPATIBILIDAD CON PAVIMENTOS DE HORMIGÓN MAYOR RAPIDEZ DE ENDURECIMIENTO RESPECTO A LAS ALCÍDICAS PRÁCTICA AUSENCIA DE TENDENCIA AL SANGRADO. FACILIDAD PARA SU REPINTADO.	SENSIBILIDAD A LOS DISOLVENTES Y A LOS ACEITES DE AUTOMOCIÓN. ESTABILIDAD EN EL ENVASE MÁS COMPROMETIDA.
	ACRÍLICA EN BASE AGUA	COMPATIBILIDAD CON TOPO TIPO DE PAVIMENTO. BUENA RESISTENCIA A LA INTEMPERIE Y ESTABILIDAD DE COLOR. EXCELENTE ACEPTACIÓN DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO. AUSENCIA DE SANGRADO SOBRE SUPERFICIES BITUMINOSAS CORTO TIEMPO DE SECADO	TENDENCIA A LA CAPTACIÓN DE SUCIEDAD DEBIDA A SU TERMOPLASTICIDAD, ESPECIALMENTE EN CLIMAS CÁLIDOS
TERMOPLÁSTICOS EN CALIENTE		PERMITEN LA INMEDIATA APERTURA AL TRÁFICO. GRAN DURABILIDAD AL SER APLICADOS EN CAPAS GRUESAS Y CON MICROESFERAS DE VIDRIO DE PREMEZCLADO. BUENA ADHERENCIA SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES. BUENA RELACIÓN CALIDAD-PRECIO.	NO APLICABLES DIRECTAMENTE SOBRE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN. TENDENCIA AL ENNEGRECIMIENTO EN TIEMPO CALUROSO. NECESIDAD DE FORMULACIONES ADAPTADAS A LA CLIMATOLOGÍA Y AL MÉTODO DE APLICACIÓN. EQUIPOS DE APLICACIÓN MAS CAROS Y ESPECIALIZADOS
PLÁSTICOS EN FRÍO		COMPATIBILIDAD CON CUALQUIER TIPO DE PAVIMENTO. ALTÍSIMA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y A LOS AGENTES QUÍMICOS. MUY ALTA DURABILIDAD SI LA APLICACIÓN SE HACE CORRECTAMENTE GRAN RAPIDEZ EN ADQUIRIR PROPIEDADES FINALES. AUSENCIA TOTAL DE PROBLEMAS DE SANGRADO.	PRECIO MÁS ELEVADO. APLICACIÓN MÁS ESPECIALIZADA.
CINTAS		COMPATIBILIDAD CON CUALQUIER TIPO DE PAVIMENTOS RESISTENCIA A LOS AGENTES QUÍMICOS MUY ALTA DURABILIDAD EXISTEN DISEÑOS ESPECIALES PARA PODER SER FÁCILMENTE RETIRABLES (RECOMENDADAS EN SEÑALIZACIONES TEMPORALES)	PRECIO INICIAL MÁS ELEVADO APLICACIÓN RECOMENDADA AL MISMO TIEMPO DE LA EXTENSIÓN DE AGLOMERADO

(*) Todas las pinturas pueden mejorar su durabilidad y tiempo de secado cuando su aplicación se lleva a cabo mediante doble extensión de materiales de post-mezclado o mediante una inyección y posterior post-mezclado (para el caso de la inyección es necesario el empleo de sistemas de aplicación airless)

TABLA 4.2.1.1. **VALORES INDIVIDUALES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA A UTILIZAR EN EL CÁLCULO DEL FACTOR DE DESGASTE**

CARACTERÍSTICA	1	2	3	4	5	8
SITUACIÓN MARCA VIAL	MARCA EN ZONA EXCLUIDA AL TRÁFICO	BANDA LATERAL IZQUIERDA, EN CALZADAS SEPA-RADAS	BANDA LATERAL DERECHA EN CALZADAS SEPARADAS, O LATERALES EN CALZADA ÚNICA	EJE O SEPARACIÓN DE CARRILES	MARCAS PARA SEPARACIÓN DE CARRILES ESPECIALES	SÍMBOLOS LETRAS Y FLECHAS
CLASE DE RUGOSIDAD (RG) CONFORME A UNE EN 13197 (H EN mm)	RG1a H≤ 0,3	RG1b 0,3 < H ≤ 0,6	RG2 0,6 < H ≤ 0,9	RG3 0,9 < H ≤ 1,2	RG4a 1,2 < H ≤ 1,5	RG4b H> 1,5
TIPO DE VÍA Y ANCHO DE CALZADA (A, EN m)	CALZADAS SEPARADAS	CALZADA ÚNICA Y BUENA VISIBILIDAD	CALZADA ÚNICA Y BUENA VISIBILIDAD	CALZADA ÚNICA Y BUENA VISIBILIDAD	CALZAD AÚNICA Y MALA VISIBILIDAD	
	Para cualquier ancho	a ≥7,0	6,5 ≤ a <7,0	a < 6,5	cualquiera	
IMD	≤ 5 000	5 000 <IMD ≤ 10 000	10 000 < IMD ≤ 20 000	20 000 < IMD ≤ 50 000	50 000 < IMD ≤ 100 000	> 100 000

Para aplicaciones directas sobre mezclas drenantes la rugosidad debe entenderse siempre RG4b.

Una vez obtenido el factor de desgaste, el nivel de durabilidad más adecuado se selecciona, de acuerdo con lo especificado en la tabla 4.2.1.2

TABLA 4.2.1.2. **NIVEL DE DURABILIDAD ASOCIADO A CADA FACTOR DE DESGASTE**

FACTOR DE DESGASTE	NIVEL DE DURABILIDAD (UNE EN 13197)
4 a 10	P4 (0,5 10^6 PASOS DE RUEDA)
11 a 14	P5 (1 10^6 PASOS DE RUEDA)
15 a 18	P6 (2 10^6 PASOS DE RUEDA)
19 a 21	P7 (>2 10^6 PASOS DE RUEDA)

NOTA: Cuando se trata de realizar una señalización temporal, el nivel de durabilidad es P3

4.2.2. COMPATIBILIDAD. DETERMINACIÓN DE LA NATURALEZA DEL MATERIAL

La determinación de la naturaleza del material base a emplear se lleva a cabo aplicando dos tablas de compatibilidades, según se trate de obra nueva o de repintado.

En el caso de las pinturas y los plásticos en frío la adherencia se facilita por la sensibilidad del sustrato al ataque de los disolventes, por la capacidad de formación de enlaces químicos y por la porosidad.

En el caso de los termoplásticos, la adherencia se facilita fundamentalmente por la sensibilidad del substrato al calor y por la porosidad.

La adherencia se puede ver notablemente perjudicada por la presencia de excesivas capas de material (cuando la fuerza de retracción de una nueva capa de pintura o la suma de dos o más es superior a la de adherencia se desprende por el punto más débil). En esos casos se hace imprescindible la eliminación o el saneado de las capas existentes.

Para una actuación de repintado, la naturaleza del material, dentro de cada nivel de durabilidad, se establece de acuerdo a los criterios de compatibilidad con la naturaleza de la última capa existente, de acuerdo con los criterios indicados en la tabla 4.2.2.1

TABLA 4.2.2.1. **COMPATIBILIDAD ENTRE CAPAS DE PRODUCTOS DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL DE DISTINTA NATURALEZA**

NUEVA APLICACIÓN	MATERIAL EXISTENTE					
	PINTURA ACRÍLICA TERMOPLÁSTICA	PLÁSTICO DE APLICACIÓN EN FRÍO DOS COMPONENTES	TERMOPLÁSTICO APLICACIÓN EN CALIENTE	MARCAS VIALES PREFABRICADAS	PINTURA ALCÍDICA	PINTURA ACRÍLICA BASE AGUA
PINTURA ACRÍLICA TERMOPLÁSTICA	EXCELENTE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
PLÁSTICO DE APLICACIÓN EN FRÍO DOS COMPONENTES	BUENA	BUENA	NULA O BAJA	BUENA	BUENA	BUENA
TERMOPLÁSTICO APLICACIÓN EN CALIENTE	BUENA	NULA O BAJA	EXCELENTE	BUENA	BUENA	BUENA
MARCAS VIALES PREFABRICADAS	NULA O BAJA	NULA O BAJA	NULA O BAJA	EXCELENTE	NULA O BAJA	NULA O BAJA
PINTURA ALCÍDICA	BUENA	NULA O BAJA	BUENA	BUENA	EXCELENTE	BUENA
PINTURA ACRÍLICA BASE AGUA	EXCELENTE	NULA O BAJA	EXCELENTE	BUENA	BUENA	EXCELENTE

La aplicación de marcas viales tipo II se hará compatible con la existente, eliminando esta en caso de incompatibilidad. Esta prescripción es también aplicable a las marcas viales sonoras.

En una actuación sobre pavimento nuevo, la naturaleza del producto y su forma de aplicación, viene condicionada por las características de la superficie del pavimento (adherencia, sangrado, rugosidad —huecos en el caso de la mezcla bituminosa drenante—, etc.), por lo que para cada nivel de durabilidad o clase, se recomienda adoptar los criterios de la tabla 4.2.2.2, según el tipo de pavimento.

TABLA 4.2.2.2. **CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA NATURALEZA DEL MATERIAL Y LA FORMA DE APLICACIÓN, SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS Y TIPO DE PAVIMENTO**

FAMILIA	TIPO DE PAVIMENTO / PRODUCTO Y FORMA DE APLICACIÓN	MEZCLA BITUMINOSA	LECHADA BITUMINOSA	MEZCLA BITUMINOSA DRENANTE	PAVIMENTO DE HORMIGÓN
CAPA DELGADA	ALCÍDICA (Pulverización)	MUY APROPIADA (1)	NO APROPIADA	APROPIADA(1)	APROPIADA(3)
	ACRÍLICA TERMOPLÁSTICO (Pulverización)	APROPIADA	NO APROPIADA	MUY APROPIADA(1)	MUY APROPIADA
	ACRÍLICA BASE AGUA (Pulverización)	MUY APROPIADA	MUY APROPIADA(1)	MUY APROPIADA(1)	APROPIADA
IMPRIMACIÓN	ACRÍLICA (Imprimación transparente o negra) (pulverización)	NO APROPIADA	NO APROPIADA	NO APROPIADA	MUY APROPIADA(2)
CAPA GRUESA	TERMOPLÁSTICO CALIENTE (Pulverización)	MUY APROPIADA	NO APROPIADA	APROPIADA(1)	NO APROPIADA
	TERMOPLÁSTICO CALIENTE (Extrusión)	MUY APROPIADA	NO APROPIADA	MUY APROPIADA	NO APROPIADA
	PLÁSTICO EN FRÍO DOS COMPONENTES (Pulverización)	MUY APROPIADA	APROPIADA	APROPIADA(1)	MUY APROPIADA
	MARCAS VIALES PREFABRICADAS (manual o mecanizada)	MUY APROPIADA	APROPIADA	MUY APROPIADA	MUY APROPIADA

(1) Dos aplicaciones. La necesidad de dos aplicaciones, se debe a la macrotextura y porcentaje de huecos. En el caso de la pintura alcídica sobre mezclas bituminosas se debe al mayor sangrado que presentan estas pinturas. A la primera aplicación no se le exigen los requisitos de comportamiento ya que no es una unidad terminada.

(2) Para rebordeo de negro o base transparente.

(3) Con imprimación.

NOTA: Los productos se aplicarán inexcusablemente tal y como se indica en la tabla (PRODUCTO Y FORMA DE APLICACIÓN), especialmente en el caso de dos aplicaciones y en el empleo de impregnación previa.

4.3. REQUISITOS DE LOS MATERIALES Y ACREDITACIONES

La acreditación de los materiales que componen el sistema se lleva a cabo mediante el marcado CE, otorgado por un organismo notificado al efecto.

Los materiales de post-mezclado tienen regulado, a través de normas armonizadas, su marcado CE desde el año 2005. (Resolución 28.06.2004; B.O.E. 16 julio 2004).

Los captafaros tienen regulado, a través de normas armonizadas, su marcado CE desde el año 2006 (Resolución 01.02.2005; B.O.E. 19.02.05).

Las marcas viales prefabricadas no tienen regulado todavía su marcado CE, en tanto no se apruebe su correspondiente norma armonizada UNE EN 1790.

Los materiales base: pinturas, termoplásticos y plásticos en frío, hasta que se apruebe su norma armonizada UNE EN 1871 pueden obtener el marcado CE a través del procedimiento consensuado de aprobación técnica CUAP 01.06/08, de conformidad con la Decisión 96/579/EC de la Comisión Europea, su marcado CE desde el año 2007. En España el documento resultante es el Documento de Idoneidad Técnica Europeo D.I.T.E.

El procedimiento para la obtención del marcado CE se encuentra descrito en los anexos ZA de las normas armonizadas que los amparan y conlleva lo siguiente:

1 Ensayo inicial de prototipo sobre los requisitos esenciales incluida la durabilidad. Se lleva a cabo una sola vez y solo se repite si se cambia la composición de alguno de los materiales que constituyen el sistema o el material final.

2 Control de producción en fábrica se lleva a cabo una vez al año.

Los ensayos de los aspectos generales y de identificación no forman parte del marcado CE.

La tabla 4.3.1 presenta un ejemplo de presentación de la información del marcado CE para una pintura. La tabla 4.3.2 presenta un ejemplo de presentación de la información del marcado CE para una marca vial prefabricada. La tabla 4.3.3 presenta un ejemplo de presentación de la información del marcado CE para microesferas de vidrio de post-mezclado. De esta forma el responsable de la carretera dispone de toda la información técnica sobre el producto y el sistema para poder decidir si es idóneo al uso que se le ha asignado.

El responsable de la carretera puede fijar el *nivel de seguridad* que él considera necesario para su obra pero está obligado a utilizar las clases y parámetros definidos en la normativa europea.

Tal como figura en la tabla 3.3.3.1, el nivel de seguridad puede definirse indirectamente por las clases mínimas de los requisitos esenciales que debe cumplir la marca vial (sistema).

Sin embargo, el nivel de seguridad puede definirse de una forma tan simple como eficaz mediante el tiempo de percepción y reacción que se requiera. Este tiempo, teniendo en cuenta la velocidad específica de la carretera, se puede transformar en distancia de visibilidad y ésta, a su vez, en valores de las características esenciales. Pueden utilizarse los cálculos o el programa (Visibility) que se proporciona en la Acción COST 331.

Asimismo, siempre que existan normas para ello, como es el caso, también está obligado a definir los requisitos de los materiales en base a las normas europeas que los regulan y, además, cuando esté regulado, a exigir el marcado CE. No se pueden solicitar requisitos fuera de los establecidos en las normas europeas (prohibición de exigir más de lo establecido). Tanto el certificado de durabilidad como el Marcado CE deben ir acompañados de una declaración del fabricante en la que figuren las características de identificación de cada producto.

De esta forma el responsable de la carretera dispone de toda la información técnica sobre el producto y el sistema para poder decidir si es idóneo al uso que se le ha asignado.

TABLA 4.3.1. EJEMPLO DE MARCADO CE PARA EL SISTEMA 1 DE LA PINTURA X

CE 01234	*Símbolo CE según la Directiva 93/68/EEC.* *Número identificativo del organismo certificador*
Pinturas, S.A, Calle A; 28999 Madrid **11** 01234-CPD-00234	*Nombre del fabricante y dirección* *Dos últimos dígitos del año en el que se fijó el marcado* *Número del certificado CE*
EN 1871:2010 Pintura X-sistema 1 (***Tipo III-Blanco- No estructurada)*** Pintura X (720 g/m^2 aplicado por pulverización) + Esferas Y (480 *g/m^2*)	*Número de la norma europea* *Descripción del producto*

CARACTERÍSTICAS ESENCIALES	CLASE			
Visibilidad nocturna: - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en seco - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en húmedo - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en lluvia	**R5** **RW5** **RR3**			
Visibilidad diurna: - Factor de luminancia β - Coordenadas cromáticas (x,y)	**B5** **pasa**			
Resistencia al deslizamiento: SRT	**S1**			
DURABILIDAD EN EL SIMULADOR DE DESGASTE: MESA GIRATORIA				
Clase de rugosidad RG	**RG2**			
Clase de tráfico	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**
Visibilidad nocturna: - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en seco - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en húmedo - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en lluvia	**R5** **RW5** **RR4**	**R4** **RW4** **RR3**	**R4** **RW3** **RR"**	**R3** **RW2** **RR1**
Visibilidad diurna: - Factor de luminancia β - Coordenadas cromáticas (x,y)	**B5** **pasa**	**B5** **pasa**	**B4** **pasa**	**B4** **pasa**
Resistencia al deslizamiento: SRT	**S2**	**S2**	**S1**	**S1**

Información de las características esenciales declaradas por el fabricante

TABLA 4.3.2. EJEMPLO DE MARCADO CE PARA UNA CINTA AX

CE 01234	*Símbolo CE según la Directiva 93/68/EEC.* *Número identificativo del organismo certificador*
CINTAS X, Calle A 28999Madrid **11** 01234-CPD-00235	*Nombre del fabricante y dirección* *Dos últimos dígitos del año en el que se fijó el marcado* *Número del certificado CE*
EN 1790:2010 CINTA XA (*Tipo II-Blanca-Estructurada*)	*Número de la norma europea* *Descripción del producto*

CARACTERÍSTICAS ESENCIALES	CLASE			
Visibilidad nocturna: - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en seco - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en húmedo	**R5** **RW5**			
Visibilidad diurna: - Coeficiente de luminancia Qd - Coordenadas cromáticas (x,y)	**Q5** **pasa**			
DURABILIDAD EN EL SIMULADOR DE DESGASTE: MESA GIRATORIA				
Clase de rugosidad RG	**RG2**			
Clase de tráfico	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**
Visibilidad nocturna: - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_L) en seco - Coeficiente de luminancia retrorreflejada (RL) en húmedo	**R4** **RW5**	**R4** **RW4**	**R4** **RW3**	**R3** **RW2**
Visibilidad diurna: - Coeficiente de luminancia Qd - Coordenadas cromáticas (x,y)	**Q5** **pasa**	**Q5** **pasa**	**Q4** **pasa**	**Q4** **pasa**

Información de las características esenciales declaradas por el fabricante

TABLA 4.3.3. **EJEMPLO DE MARCADO CE PARA MICROESFERAS DE VIDRIO X**

CE **01234**	*Símbolo CE según la Directiva 93/68/EEC.* *Número identificativo del organismo certificador*
ESFERAS X, Calle A; 28999 Madrid **11** **01234-CPD-00236**	*Nombre del fabricante y dirección* *Dos últimos dígitos del año en el que se fijó el marcado* *Número del certificado CE*
EN 1423 : 2010 ESFERAS X 600-125 µm Índice de refracción : Clase A Máximo porcentaje de microesferas defectuosas: Pasa Granulometría	*Número de la norma europea* *Descripción del producto* *Información de las características esenciales declaradas por el fabricante*

Tamices IS0 565 R 40/3 µm	Masa retenida acumulada %
710	0 a 2
600	0 a 10
355	30 a 70
212	70 a 100
125	95 a 100

Sustancias peligrosas

Arsénico	Class 0
Plomo	Class 1
Antimonio	Class 1

Resistencia a los agentes químicos: agua; ácido clorhidrico; cloruro cálcico y sulfuro sódico: pasa

Una vez elegido el sistema y la marca vial a construir, la clave para obtener marcas viales de calidad está en la ejecución de una correcta puesta en obra. Para ello es fundamental aplicar procedimientos de control:

1. Previos a la aplicación.
2. Durante la aplicación.
3. Después de la aplicación.

5.1 . OPERACIONES PREVIAS

5.1.1. PRESENCIA DE HUMEDAD EN EL PAVIMENTO

Tiene un efecto muy negativo en la adherencia de los materiales y es crítica en el caso de los termoplásticos. La presencia de humedad puede producirse si la superficie está próxima al punto de rocío. Se pueden usar métodos más directos para comprobar su presencia.

La aplicación de una marca vial se efectúa, cuando la temperatura del pavimento o marca vial existente, supere al menos en tres grados Celsius (3 ºC) al punto de rocío. Con la tabla 5.1.1 se puede calcular el punto de rocío para una temperatura y humedad relativa dadas.

TABLA 5.1.1. **DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO**

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%)								
	50	55	60	65	70	75	80	85	90
5	-4,1	-2,9	-1,8	-0,9	0,0	0,9	1,8	2,7	3,6
6	-3,2	-2,1	-1,0	-0,1	0,9	1,8	2,8	3,7	4,5
7	-2,4	-1,3	-0,2	0,8	1,8	2,8	3,7	4,6	5,5
8	-1,6	-0,4	0,8	1,8	2,8	3,8	4,7	5,6	6,5
9	-0,8	0,4	1,7	2,7	3,8	4,7	5,7	6,6	7,5
10	0,1	1,3	2,6	3,7	4,7	5,7	6,7	7,6	8,4
11	1,0	2,3	3,5	4,6	5,6	6,7	7,6	8,6	9,4
12	1,9	3,2	4,5	5,6	6,6	7,7	8,6	9,6	10,4

TABLA 5.1.1. **DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO**

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%)								
	50	55	60	65	70	75	80	85	90
13	2,8	4,2	5,4	6,6	7,6	8,6	9,6	10,6	11,4
14	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4
15	4,7	6,1	7,3	8,5	9,5	10,6	11,5	12,5	13,4
16	5,6	7,0	8,3	9,5	10,5	11,6	12,5	13,5	14,4
17	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3
18	7,4	8,8	10,2	11,4	12,4	13,5	14,5	15,4	16,3
19	8,3	9,7	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3
20	9,3	10,7	12,0	13,3	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3
21	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3
22	11,1	12,5	13,8	15,2	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3
23	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,4	19,4	20,3	21,3
24	12,9	14,4	15,7	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3
25	13,8	15,3	16,7	17,9	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2
26	14,8	16,2	17,6	18,8	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2
27	15,7	17,2	18,6	19,8	21,1	22,2	23,2	24,3	25,2
28	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2
29	17,5	19,1	20,5	21,7	22,9	24,1	25,2	26,2	27,2
30	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2

Pueden utilizarse métodos de aproximación que también proporcionan buena información sobre la presencia de humedad.

Uno se basa en colocar sobre el pavimento una lámina de plástico transparente (del tipo empleado para envolver alimentos) del tamaño aproximado de un folio, sellando los bordes con cinta adhesiva. Transcurridos 15 minutos, el plástico no debe presentar humedad en su cara interior. En caso contrario la humedad es demasiado alta para pintar.

En el caso de termoplásticos, se puede colocar una pieza de 45 x 45 cm de cartón asfáltico (del utilizado en impermeabilización de tejados) sobre el pavimento. Se vierte sobre la parte asfáltica una cantidad adecuada de termoplástico, para que no rebose, a una temperatura de 200 ºC aproximadamente. Transcurridos 2 minutos se observa la parte inferior (cartón) y si hay gotas, la humedad es muy alta para la aplicación de termoplástico.

Es preciso prestar atención a los repintados: las zonas blancas tienen temperaturas más frías que las negras y también es el caso de bandas laterales próximas a zonas verdes y en umbría, so-

bre todo a primeras horas de la mañana; a veces simplemente pasar el dedo sobre ellas acusa la presencia de humedad.

También supone una situación de riesgo, en la adherencia de los materiales, cuando se llevan a cabo trabajos nocturnos con humedades relativas altas.

5.1.2. ELIMINACIÓN DE MARCAS VIALES

Para la eliminación de las marcas viales, ya sea para facilitar la nueva aplicación o en aquellos tramos en los que la aplicación haya sido deficiente, no se permiten procedimientos térmicos y sólo en casos de muy pequeña entidad se permite el empleo de decapantes. Por ello, debe utilizarse alguno de los siguientes procedimientos de eliminación:

- Fresado, mediante la utilización de fresas flotantes verticales u horizontales.
- Agua a presión.
- Proyección de abrasivos con recuperación.

Esta unidad de obra es también de aplicación en la eliminación de membranas de curado que pudieran existir en las aplicaciones sobre pavimentos de hormigón de cemento.

Se debe barrer y retirar de la calzada el material eliminado; si después de la eliminación se hace necesario pintar otra vez se procede a la desaireación del pavimento mediante la humectación con agua o con un agente tensioactivo y posterior secado.

Nunca se debe utilizar pintura negra para eliminar marcas viales, ya que el brillo de la pintura puede confundir a los conductores y además ello sólo hace preservar la marca tapada, que acaba saliendo. La eliminación significa la desaparición completa de la marca y no su ocultación o enmascaramiento, que está sujeta a otra especificación.

5.1.3. PREMARCAJE Y REPLANTEO

El premarcaje consiste en una línea de referencia, bien continua o bien mediante tantos puntos como se estimen necesarios, separados entre sí una distancia no superior a dos metros (2 m).

Por replanteo se entiende la ubicación, previa a su pintado, de las líneas longitudinales y marcas transversales (flechas, letreros, símbolos, etc.) sobre la carretera. Un error obligará a la eliminación de la marca vial, siendo siempre más difícil y costosa que la propia aplicación.

5.1.4. LIMPIEZA

La presencia de suciedad, polvo, barro, grasa, membranas de curado, aceites u otros productos pueden ser también causa de falta de adherencia. En este caso debe limpiarse la superficie antes de comenzar la operación de pintado.

5.1.5. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE: IMPRIMACIÓN

Se recomienda el empleo de imprimaciones cuando se aplica un producto directamente sobre pavimentos de hormigón.

Sobre superficies asfálticas envejecidas cuyo betún está oxidado y tienen árido sin suficiente adherencia, a veces, esta imprimación puede hacerse con algún compuesto bituminoso o pintura negra, con el sobreancho especificado para el rebordeo, de forma que cumpla con las dos misiones de mejorar la adherencia y proporcionar contraste.

En algunas zonas o tramos de carreteras, los áridos empleados en la composición de la capa de rodadura pueden oxidarse (v.g., algunas anfibolitas en Galicia) transmitiendo su color a la marca vial y degradándola en poco tiempo hasta cambiarla de color. Para que no se produzcan estas situaciones, conviene prestar mucha atención a la zona de la que se extrae el árido para capas de rodadura.

5.1.6. Condiciones ambientales

Además de lo tratado en el punto 5.1.1 para la humedad, la aplicación, no puede llevarse a cabo si la temperatura ambiente no está comprendida entre cinco y cuarenta grados Celsius (5 ºC a 40 ºC), o si la velocidad del viento es superior a veinticinco kilómetros por hora (25 km/h).

5.1.7. Temperatura de aplicación

La temperatura de aplicación es de especial importancia en el caso de los termoplásticos pues su adherencia está basada en la transferencia de calor entre el material y el pavimento.

La aplicación por pulverización (sprayplásticos) requiere temperaturas próximas a 200 ºC y la aplicación por extrusión requiere temperaturas próximas a 180 ºC.

Una regla fácil de seguir es que, como mínimo, la temperatura del material sumada a la del pavimento sea respectivamente, de 220 ºC y 200 ºC para la pulverización y la extrusión.

5.1.8. Comprobación de la macrotextura del sustrato

Es de gran importancia para garantizar el mantenimiento de un adecuado nivel de resistencia al deslizamiento. Si el pavimento ha perdido macrotextura de forma que no pueda transmitirse ninguna rugosidad a la superficie de la marca vial aplicada sobre él, debe proveerse a la marca vial de la rugosidad suficiente para garantizar el coeficiente de resistencia al deslizamiento necesario, bien por la presencia de áridos de premezclado o por post-mezclado.

5.1.9. Acopios de materiales

A fin de poder proceder al control de los materiales, se deben acopiar en un almacén de la obra antes de dar comienzo a ella. Deben estar perfectamente identificados por lotes y número de envases de cada lote y este debe disponer de su declaración de características (declaración del fabricante) conforme a su norma.

Todos ellos deben disponer de su correspondiente Marcado CE y si éste no fuera todavía reglamentariamente exigible, el PG-3 requiere el ensayo de durabilidad según la norma UNE 135200-3, método B.

5.2. EJECUCIÓN

5.2.1. Máquinas y equipos de aplicación

Los factores en los que tiene influencia la maquinaria de ejecución de las marcas viales son los siguientes:

1. Dosificación de los materiales constituyentes del sistema.
2. Homogeneidad transversal y longitudinal de la aplicación.

3. Geometría de la marca vial.
4. Rendimiento (capacidad de producción).

El primero de los factores está relacionado con los caudales que es capaz de suministrar la máquina para los diferentes materiales que aplica (habitualmente una base líquida sobre la que se añaden las microesferas de vidrio) y, sobre todo, con la capacidad de controlarlos.

El segundo, está relacionado con la calidad de los elementos aplicadores, para que los caudales se apliquen homogéneamente a lo ancho y a lo largo de la marca vial aplicada.

El tercero, tiene que ver con el diseño y los automatismos de que disponga la máquina para garantizar su correcta conducción (alineación), así como el ancho constante y su modulación (longitudes de las líneas pintadas y sus vanos).

Por último, no conviene olvidar que la máquina, mientras trabaja, está ocupando la calzada, lo cual, además de constituir un riesgo propio y para la circulación, supone un coste cada vez más considerado por los gestores de las carreteras. De este modo la facilidad de manejo, la mínima ocupación de la calzada, y la rapidez de aplicación, sin merma en las dosificaciones, deben ser prestaciones cada vez más deseadas y en consecuencia exigibles a la maquinaria.

Como se puede apreciar, existe una gran influencia de la maquinaria en el resultado final de una obra de señalización horizontal. Por ello existe la norma UNE 135277 partes 1 y 2 que tratan de definir y medir las prestaciones de la maquinaria a emplear en señalización horizontal.

5.2.2. AJUSTE EN OBRA DE LA MÁQUINA

El cumplimiento de la norma UNE 135277, partes 1 y 2, permite otorgar una certificación de la idoneidad al uso del equipo de ejecución, significa que cuando se opera correctamente es capaz de controlar el proceso de aplicación aunque después, antes de comenzar una obra, siempre hay que realizar un ajuste a través de un tramo de ensayo o prueba.

El ajuste en obra tiene por objeto fijar las condiciones de trabajo de la máquina para aplicar las dosificaciones requeridas. Se basa en medir los caudales suministrados por la máquina en las condiciones determinadas para obtener la velocidad de trabajo con una sensibilidad de 0,1 km/h.

En todo caso, la inspección previa debe comprobar la ficha de la máquina y comprobar especialmente la presencia en los equipos de los siguientes elementos específicos:

- Termómetro de temperatura ambiente.
- Higrómetro.
- Termómetro de superficie (de contacto o de infrarrojos).
- Velocímetro con sensibilidad de 0,1 km/h.

Estos requisitos de comportamiento son independientes de los que por otras razones de seguridad de sus componentes y de los vehículos que circulan por la vía pública les sean exigibles.

El ajuste en obra se lleva a cabo de acuerdo con lo especificado en la norma UNE 135277-1, en lo que se refiere a las presiones, temperaturas y sobre todo, la velocidad a la que hay que trabajar para aplicar las dosificaciones especificadas.

FIGURA 5.2.1. **PROCESO DE AJUSTE EN OBRA. A) TOMA DE MUESTRA DEL MATERIAL SUMINISTRADO POR LA MÁQUINA EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO PREVIAMENTE ESTABLECIDAS. B) PESADA DE LA MUESTRA TOMADA.**

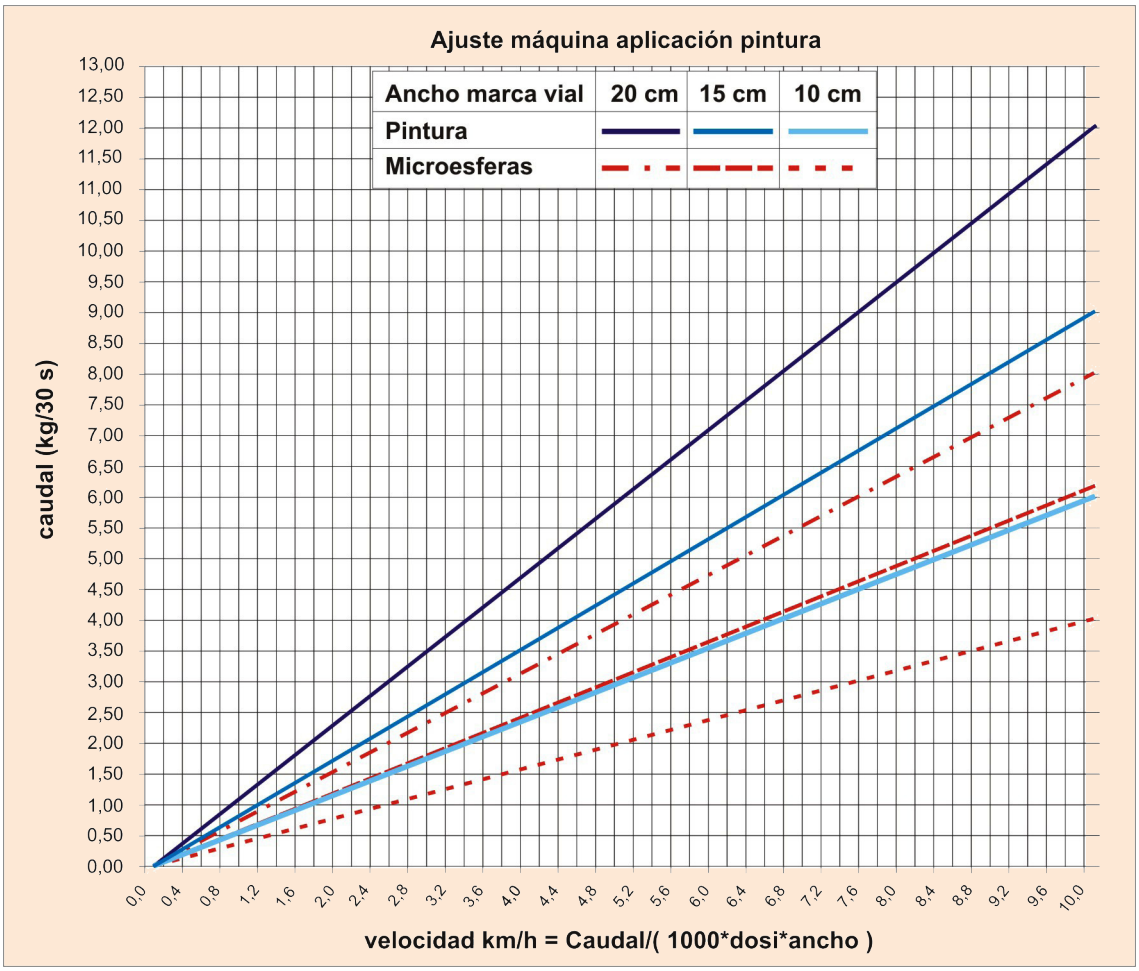


FIGURA 5.2.2. **DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE APLICACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS CAUDALES DE PINTURA Y MICROESFERAS DE VIDRIO PARA UNAS DOSIFICACIONES (DOSI) TEÓRICAS DE 720 G/M² DE PINTURA Y 480 G/M² DE MICROESFERAS DE VIDRIO (LAS LÍNEAS DE PINTURA DE 10 CM Y DE MICROESFERAS DE 15 CM SON COINCIDENTES)**

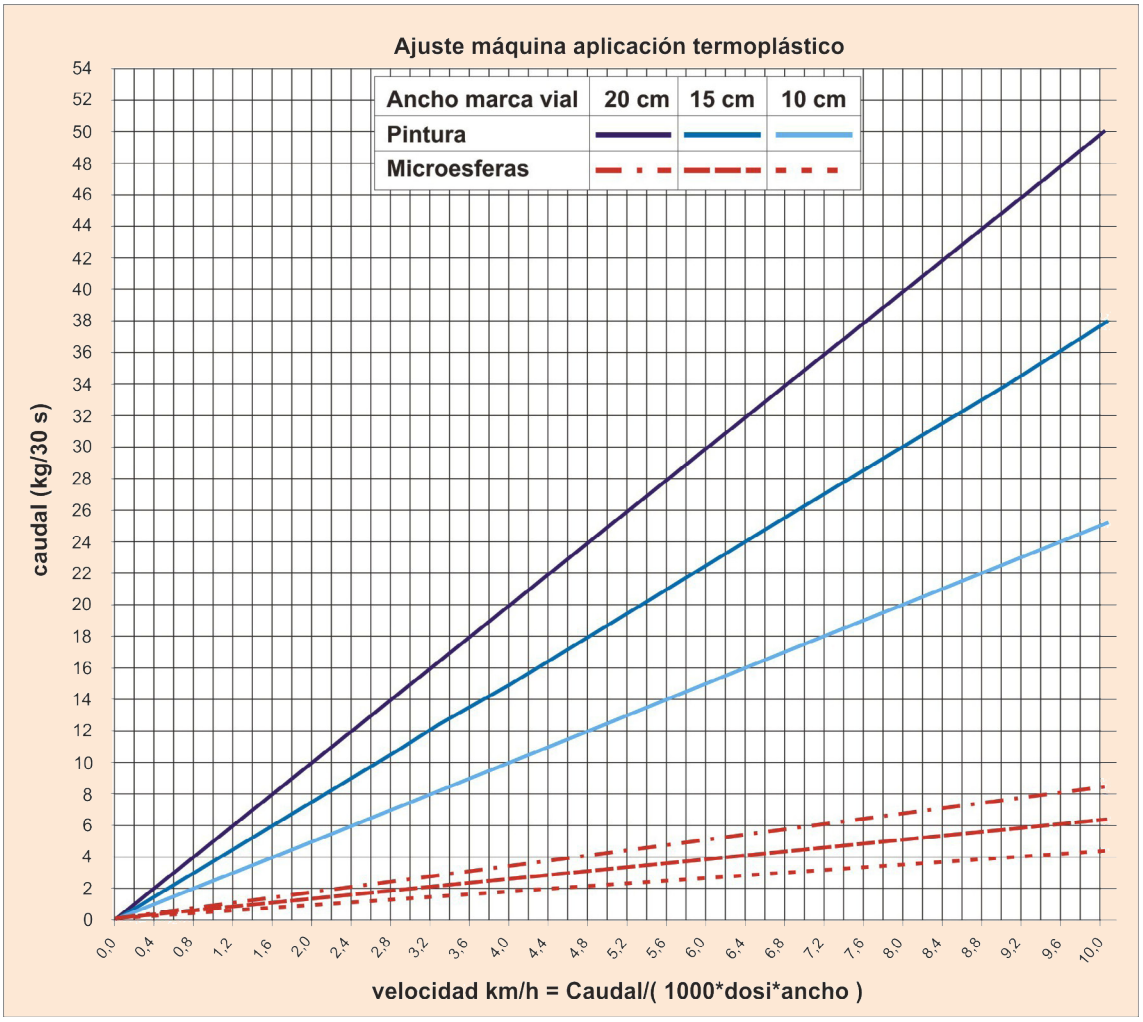


FIGURA 5.2.3. **DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE APLICACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS CAUDALES DE TERMOPLÁSTICO Y MICROESFERAS DE VIDRIO PARA UNAS DOSIFICACIONES (DOSIS) TEÓRICAS DE 3.000 G/M² DE TERMOPLÁSTICO Y 500 G/M² DE MICROESFERAS DE VIDRIO**

La tabla 5.2.1 muestra un ejemplo del contenido de un acta de ajuste en obra con las condiciones que se tienen que mantener en la máquina.

TABLA 5.2.1. **EJEMPLO DE ACTA DE AJUSTE EN OBRA**

	Condiciones de presión (bar) temperatura (ºC) y velocidad (km/h) para la ejecución de línea de *a* m de ancho					
MÁQUINA PINTABANDAS XX	Material base			Microesferas de vidrio		Velocidad km/h
	Presión Tanque	Presión Atomización	Tª ºC tanque	Presión Tanque	Presión Atomización	
MARCADOR SITUADO EN LATERAL DERECHO DE LA MÁQUINA APLICADORES EXTERNOS	5,5	7,0	210 ºC	2,0	1,5	7,1
TOLERANCIA	± 0,2	± 0,5	± 10	± 0,1	-	± 0,2

Nota: Estas condiciones de trabajo deben mantenerse constantes durante las obras cuando se aplique la banda derecha con esta máquina y materiales. Las tolerancias admisibles sólo pueden utilizarse justificadamente.
Se puede comprobar en todo momento el cumplimiento de estas condiciones durante la aplicación.

La cualificación del personal a cargo de la obra y su experiencia es de gran importancia para garantizar el buen uso de los recursos.

Se recomienda que los cargos de responsabilidad (encargados de obra y jefes de equipo) estén identificados y tengan una experiencia de más de cinco años en la ejecución de este tipo de trabajos.

Sería deseable instituir un certificado de profesionalidad que cualificara al personal responsable que lleva a cabo estos trabajos debido tanto a la importancia en la seguridad vial de la obra que ejecutan, como a las condiciones de tráfico abierto en las que habitualmente se trabaja.

5.2.3. Controles durante la aplicación

Estos controles se basan fundamentalmente en comprobar que las cosas se hacen como se han previsto en los controles previos:

1. Control de las dosificaciones (medido por pesada o por espesor de película), especialmente al comienzo de las obras.
2. Homogeneidad de los materiales (pinturas y esferas).
3. Grado de hundimiento de las esferas.
4. Ancho de líneas.
5. Aspecto de la visibilidad diurna.
6. Aspecto de la visibilidad nocturna.

Estos controles tienen una gran eficacia al permitir corregir algunos problemas de fácil solución. Las tablas 5.2.2; 5.2.3 5.2.4 proporcionan un ejemplo de guía para identificar esos fallos y los correspondientes consejos para subsanarlos en lo que se refiere a los puntos 1 a 4.

5.2.3.1. Dosificaciones

Además del ajuste en obra, hay un sistema alternativo que permite verificar si se siguen cumpliendo las condiciones que es el cálculo de los caudales mediante el empleo de placas de ensayo de plástico (o de otro material, preferiblemente de poco peso).

Estas placas se obtienen para el material base y las esferas por separado, controlando al mismo tiempo la velocidad con una sensibilidad de 0,1 km/h. El objetivo es establecer las condiciones de trabajo (presiones, temperaturas y velocidad). Se trata de un método simple cuando el equipo está muy comprobado y sólo necesita algún pequeño ajuste. En cualquiera de los casos hay que disponer en obra de los correspondientes equipos de pesada.

Si se fijan las condiciones de trabajo, la vigilancia de obra consiste en comprobar su cumplimiento y sólo ocasionalmente proceder a la toma de muestras en chapas.

Una manera indirecta de tener control sobre las dosificaciones es mediante el control conjunto de los acopios y de las aplicaciones, para lo que sólo se necesita que ambos estén perfectamente documentados.

a) El control de los acopios mediante su identificación por lotes y número de envases de cada lote.

b) El control de las aplicaciones mediante la redacción de un parte de trabajo diario de acuerdo con lo establecido en el apartado 700.7 del PG-3 en el que figure junto a la marca y referencia, el lote y número de envases utilizados en cada unidad de obra y cuyo modelo sea previamente acordado.

Con esto, además queda garantizada la trazabilidad de la obra.

5.2.3.2. Homogeneidad transversal

Para el *material base*, la homogeneidad transversal de la línea se logra mediante ajustes en los dispositivos de pulverización, de extrusión o de dispersión (para las esferas). Es un ajuste que debe hacer un operario experto al comienzo de la obra. La forma práctica de comprobarlo es mediante la colocación de una probeta de plástico transparente y su observación a contraluz por la parte inferior.

Para los *materiales de post-mezclado*, la homogeneidad transversal se puede hacer mediante la observación visual o el empleo de un equipo de medida de la distribución como el de la figura.5.2.4

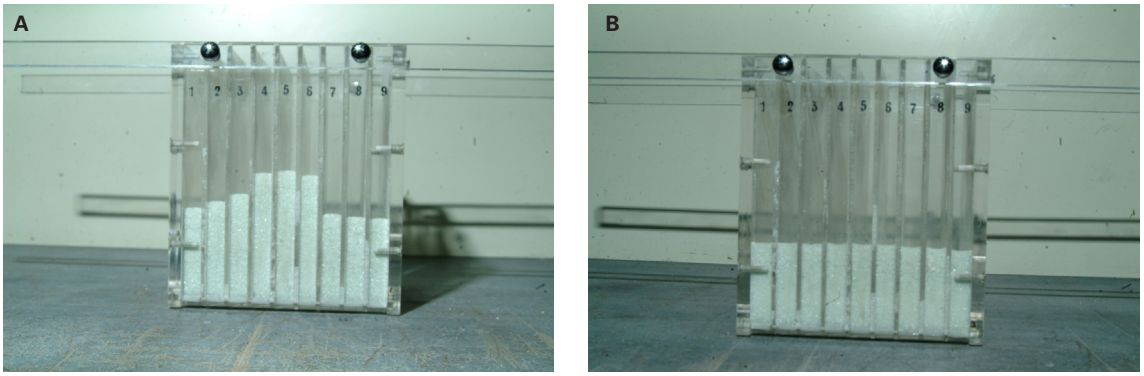


FIGURA 5.2.4. **DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DE LOS MATERIALES DE POST-MEZCLADO. A. DISTRIBUCIÓN HETEROGÉNEA (MÁS MATERIAL EN EL CENTRO). B. DISTRIBUCIÓN HOMOGÉNEA UNA VEZ CORREGIDOS LOS DEFECTOS**

5.2.3.3. Grado de hundimiento

Sólo puede hacerse de forma visual y es imprescindible que el operario que controla la aplicación tenga experiencia suficiente.

5.2.3.4. Aspecto de las visibilidades diurna y nocturna

Los controles sobre el aspecto de la visibilidad diurna y nocturna pueden llevarse a cabo visualmente si se tiene la experiencia suficiente o instrumentalmente mediante equipos de evaluación portátil o dinámica.

La muestra se toma conforme a lo especificado en la norma UNE 135204 y las medidas conforme a lo especificado en la norma UNE EN 1436. Los valores umbrales a cumplir son los que figuran en la tabla 700.4 del PG-3 para antes de 30 días.

Hay que tener en cuenta que, los modelos de evolución de la retrorreflexión pueden variar considerablemente, en función de la cantidad de esferas aplicadas y de su grado de hundimiento así como de la presencia o no de microesferas de premezclado.

5.2.4. Ejemplos de defectos susceptibles de poder producirse durante la aplicación de pintura

TABLA 5.2.4. **EJEMPLO DE FALLOS/CAUSAS EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS**

DEFECTO	FORMA DE RESOLVERLO
MAYOR ESPESOR EN EL CENTRO DE LA LÍNEA	Disminuir la presión en tanque o en la bomba. Cerrar el paso de pintura ligeramente. Aumentar la presión de atomización. Aumentar la temperatura del material.
MENOR ESPESOR EN EL CENTRO DE LAS LÍNEAS	Disminuir la presión de atomización Limpiar boquillas. Aumentar la presión en tanque o en las bombas. Disminuir la temperatura del material.
MAYOR ESPESOR EN UN LADO Y MENOR EN OTRO	Reemplazar las boquillas o limpiarlas.
LA LÍNEA ES DEMASIADO ANCHA	Bajar la altura de la pistola de pulverización. Seleccionar la boquilla adecuada. Poner boquillas con otro ángulo. Limpiar la boquilla
EL ANCHO DE LA LÍNEA ES VARIABLE	Ajustar la altura solidariamente a una rueda
LA LÍNEA ES DEMASIADO ESTRECHA	Subir la altura de la pistola de pulverización. Seleccionar la boquilla adecuada. Poner boquillas con otro ángulo. Limpiar la boquilla.
LA PELÍCULA ES DEMASIADO FINA	Abrir el paso de pintura. Aumentar la presión en tanque o en las bombas. Aumentar la presión de atomización Disminuir la velocidad de aplicación.
LA PELÍCULA ES DEMASIADO GRUESA	Cerrar el paso de pintura. Disminuir la presión en tanque o en las bombas. Disminuir la presión de atomización Aumentar la velocidad de aplicación.
DECOLORACIÓN DE LA PINTURA EN ASFALTO NUEVO (SANGRADO)	Aplicar una segunda capa de pintura.
LA LÍNEA TIENE GRUMOS	Presión de atomización baja. Presión en tanque o en bomba muy baja. Material deficiente (gelificación). Boquilla demasiado gastada. Pintura muy fría.
LA LÍNEA TIENE UNA HUELLA LONGITUDINAL	Presión de atomización muy alta. Presión de microesferas muy alta.

5.2.5. EJEMPLOS DE DEFECTOS SUSCEPTIBLES DE PODER PRODUCIRSE DURANTE LA APLICACIÓN DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO

TABLA 5.2.5. **EJEMPLO DE FALLOS/CAUSAS EN LA APLICACIÓN DE MICROESFERAS DE VIDRIO**

DEFECTO	FORMA DE RESOLVERLO
CONCENTRACIÓN DE ESFERAS EN UN SOLO LADO	Desatascar obstrucciones del aplicador. Alinear el aplicador.
CONCENTRACIÓN DE ESFERAS EN EL CENTRO DE LA LÍNEA	Aumentar la presión en el tanque de esferas. Ajustar el paso de esferas. Ajustar los deflectores de esferas. Aumentar el tamaño de la boquilla.
CANTIDAD EXCESIVA DE ESFERAS	Reemplazar la pistola o reparar Disminuir la presión en tanque.
LAS ESFERAS SE HUNDEN EN EL MATERIAL	Ajustar la altura del aplicador. Ajustar el ángulo de aplicación. Comprobar el espesor de película del material. Mayor viscosidad del material (o menor temperatura).
LAS ESFERAS ESTÁN CUBIERTAS PARCIALMENTE POR EL MATERIAL	Excesiva velocidad de aplicación.
LAS ESFERAS NO SE HUNDEN LO SUFICIENTE	Acercar el aplicador Ajustar el ángulo de aplicación. Menor viscosidad del material (o mayor temperatura).
ASPECTO DE PULSACIONES	Aumentar la presión en tanque. Sustituir el aplicador.
EXCESIVA CANTIDAD DE ESFERAS EN LOS LADOS DE LA LÍNEA (PAVIMENTO)	Regular la altura del aplicador y los deflectores.

5.2.6. EJEMPLOS DE DEFECTOS SUSCEPTIBLES DE PODER PRODUCIRSE DURANTE LA APLICACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

TABLA 5.2.6. **EJEMPLO DE FALLOS/CAUSAS EN LA APLICACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS**

DEFECTO	CAUSA
DESPRENDIMIENTO	Pavimento sucio. Baja temperatura. Poco material (poco material y baja temperatura). Humedad en el pavimento. Material defectuoso. Velocidad de aplicación demasiado rápida.
BURBUJAS EN LA LÍNEA	Humedad en el pavimento. Material sobrecalentado.
LÍNEA CORRIDA (BORDES POCO PERFILADOS), LÍNEA CON BORDES EXCESIVAMENTE REDONDEADOS	Material demasiado caliente.

DEFECTO	CAUSA
LÍNEA CUARTEADA	Sobrecalentamiento. Temperaturas muy bajas. Capa excesivamente delgada. Pavimento cuarteado.
SUPERFICIE EXCESIVAMENTE RUGOSA O BORDES SALPICADOS	Temperatura del material demasiado baja. El material ha sido «tostado». Humedad en el pavimento.
LÍNEA MUY LISA Y BRILLANTE	Pocas o ninguna microesferas de vidrio o demasiado hundidas.
APARICIÓN DE CRÁTERES	Microesferas de vidrio que han rebotado. El material está demasiado frío o la pistola de esferas demasiado lejos.
ASPECTO GRISÁCEO	El material se ha tostado. El material se ha calentado demasiadas veces o limpieza inadecuada de las conducciones.
SALPICADURAS	Material demasiado caliente o demasiado frío.
GRUMOS SOBRE LA LÍNEA	El material está sobrecalentado o infracalentado. Pigmentos y cargas no se han llegado a mezclar con un material excesivamente recalentado.
LOMO AL COMIENZO DE LA LÍNEA	Material muy frío. Velocidad muy rápida. Pavimento muy abierto o muy frío.
LÍNEA RUGOSA Y RAYADA	Objetos extraños en la pistola o extrusor.
GOTAS SOBRE LA LÍNEA	Material muy frío.

5.3. CONTROL DE LA UNIDAD TERMINADA

Los controles a llevar a cabo tras la aplicación tienen por objeto comprobar que se cumplen los requisitos mínimos solicitados.

5.3.1. Controles de aceptación y rechazo

Los controles y los criterios de aceptación o rechazo son los establecidos en el PG-3 o en el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, si bien hay que tener en cuenta las consideraciones que se exponen a continuación.

No se pueden exigir valores distintos a los que figuran en el PG-3, ni en la norma europea UNE EN 1436 reglamentariamente; tampoco es necesario porque si se cumplen dichos valores el comportamiento y la durabilidad de la marca vial debe ser aceptable.

La evolución de las marcas viales presenta una alta variabilidad sobre una línea de tendencia que se refleja en una gran cantidad de dientes de sierra por lo que no se debe transformar el requisito en una línea de regresión, ni interpolar valores.

A título de ejemplo, el gráfico de la figura 5.3.1 muestra los resultados obtenidos por tres diferentes productos en un tramo de ensayo en el que se han tomado lecturas cada mes durante 12 meses.

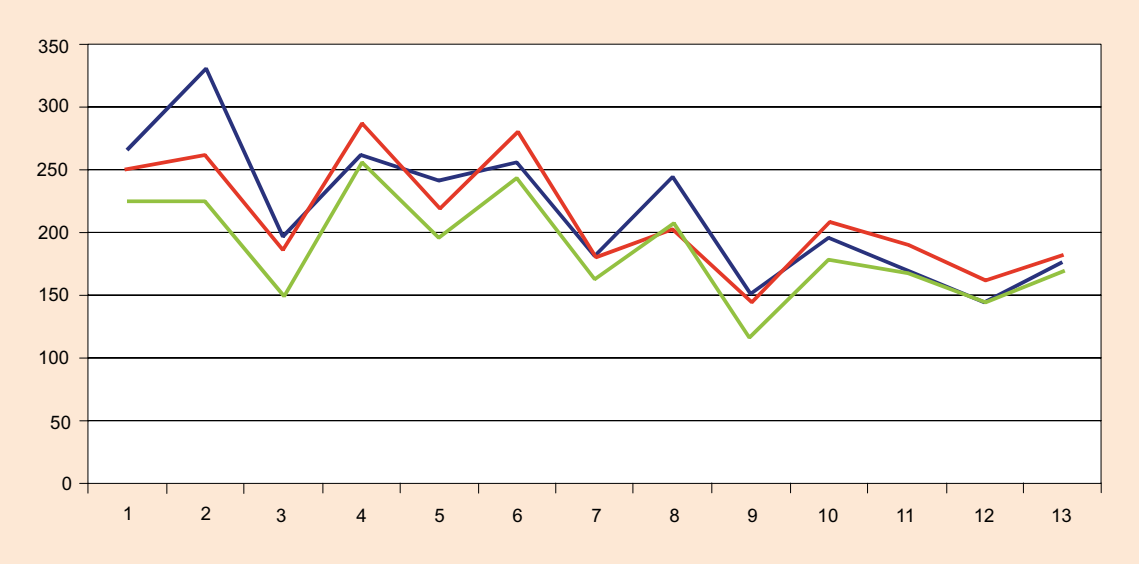


FIGURA: 5.3.1. **EVOLUCIÓN DE LA RETRORREFLEXIÓN DE TRES PRODUCTOS EN UN MISMO TRAMO DE CARRETERA A LO LARGO DE UN AÑO**

El valor obtenido en un momento dado depende del modelo de evolución, en el caso de las pinturas la retrorreflexión evoluciona según los dos escenarios siguientes:

a) Cuando el grado de hundimiento es inferior al 75% el tráfico elimina rápidamente una parte de las esferas y la retrorreflexión evoluciona siguiendo una curva de campana, que pasa por un máximo para empezar a disminuir progresivamente (es el escenario más general).

b) Cuando el grado de hundimiento es superior al 75% las esferas van apareciendo por efecto del tráfico y la evolución es más lenta.

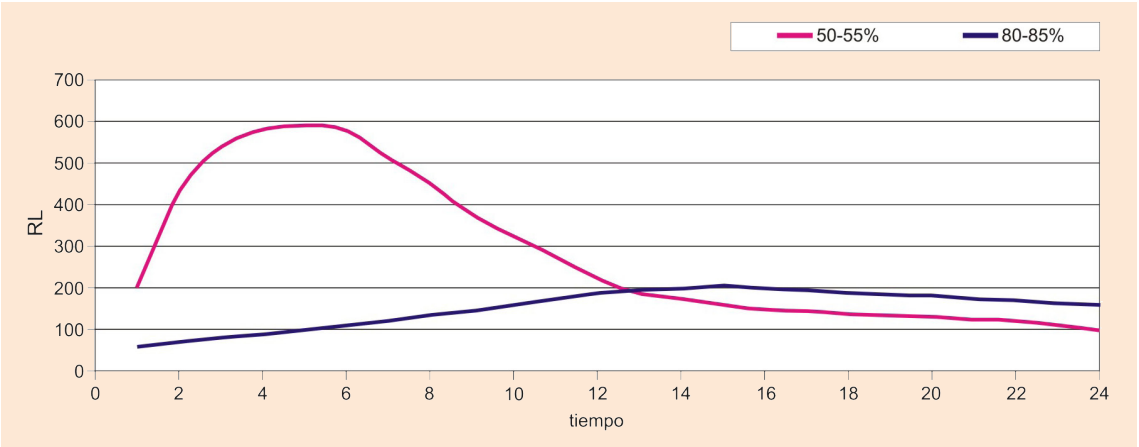


FIGURA 5.3.2. **MODELO DE EVOLUCIÓN DE LA RETRORREFLEXIÓN EN FUNCIÓN DEL GRADO DE HUNDIMIENTO DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO**

El caso del termoplástico es todavía más complejo ya que juegan dos tipos de esferas, las de premezclado y las de post-mezclado. Estas últimas se aplican para proporcionar retrorreflexión inmediata pero su duración es pequeña, dependiendo esta de la propia aplicación y de la intensidad de tráfico. Esto se muestra en la figura 5.3.3 donde se aprecia que:

a) Al comienzo de la vida útil (líneas de azul) sólo funcionan las esferas de post-mezclado que van desapareciendo provocando una caída brusca de la retrorreflexión llegando a alcanzar un valor mínimo en el punto de encuentro cuando empiezan a trabajar las de premezclado (líneas en rojo).

b) El nivel de retrorreflexión alcanzado por las esferas de premezclado depende del porcentaje en fórmula, así como de su granulometría. La duración depende de la dosificación empleada (espesor de película).

c) En definitiva, la gráfica de evolución de un termoplástico viene dada por una primera parte dependiente de la acción de las esferas de post-mezclado (aplicación), seguido de una segunda parte cuyo nivel de retrorreflexión depende de la cantidad y granulometría de las esferas de premezclado y su longitud (duración o vida útil) de la dosificación (espesor de película). Una posible evolución puede venir representada por la línea resaltada en negro.

La mencionada figura 5.3.3 refleja todo lo expuesto para el caso de los termoplásticos.

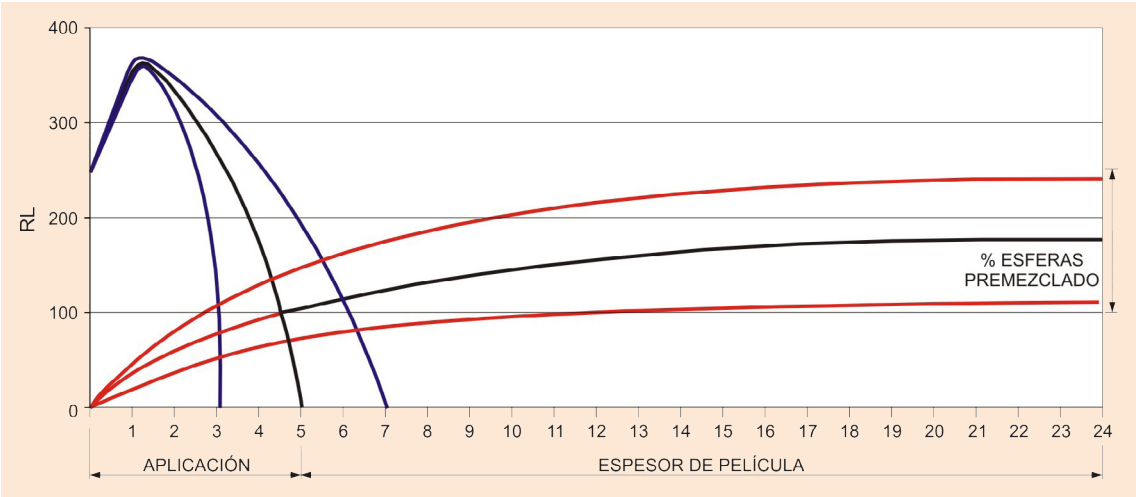


FIGURA 5.3.3. **MODELO DE EVOLUCIÓN DE LA RETRORREFLEXIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y DE LOS CONTENIDOS EN MICROESFERAS DE VIDRIO DE POST-MEZCLADO Y DE PREMEZCLADO.**

Evidentemente, el valor obtenido depende del estado de limpieza de las marcas evaluadas. Por ello el PG-3 menciona, obviamente, que hay que limpiar antes de pintar para garantizar una buena adherencia. Sin embargo no menciona que al llevar a cabo la evaluación de sus características, las marcas viales también deben estar secas y limpias. Muchas veces se repinta cuando realmente se requiere simplemente una limpieza de la marca vial. Se pueden citar ejemplos de cómo se trata este asunto en los Estados Unidos y en el Reino Unido.

En EEUU la norma ASTM E 1710-05 «Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer1» dice en su apartado 12: «La superficie de la marca vial tiene que estar seca y limpia».

En el Reino Unido el «TD26/04 -Annex G: procedure for the in-situ testing of retroreflection using handheld devices» dice en su apartado g) que «Todas las marcas a medir deben estar libres de suciedad y completamente secas. Se utilizará un cepillo apropiado para eliminar la suciedad y/o microesferas de vidrio mal adheridas, antes de medir».

Existen puntos singulares en los que se obtienen valores anómalos que deben ser considerados individualmente. En este capítulo pueden considerarse las travesías urbanas, las intersecciones, las carreteras de montaña y muy especialmente los túneles.

La interpretación de resultados es otro de los problemas que nos podemos encontrar, cómo interpretar el caso en el que para una determinada característica el valor medio esté por encima del mínimo pero existe un número de valores por debajo de los valores mínimos. Cuando estos valores están agrupados el problema está localizado y la solución es su reparación.

Cuando estos valores están distribuidos aleatoriamente se puede considerar aceptable un coeficiente de variación de ± 25% ya que ésta es la variabilidad intrínseca de este tipo de obras desde su origen. Otras técnicas como la de la media móvil también pueden ser de aplicación a este tipo de obras.

En lo que se refiere a la tolerancia sobre la geometría de las marcas viales no existe una norma en la que se especifiquen sus tolerancias. La tabla 5.3.1 es un ejemplo de cómo se puede resolver esto, estableciendo prescripciones en los pliegos particulares de la aplicación.

TABLA 5.3.1. **TOLERANCIAS MÁXIMAS ADMITIDAS A LAS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE GEOMETRÍA Y SUS MÉTODOS DE COMPROBACIÓN (*)**

	LOCALIZACIÓN	ALINEACIÓN	ANCHO (A)	MODULACIÓN	
				LONGITUD LÍNEAS (L)	LONGITUD CICLO**(C)
MÉTODO DE COMPROBA-CIÓN	Se evalúan las posibles frente a las localizaciones especificadas	Se evalúa la desviación sobre el trazo existente o el especificado en tramos de 25 m de marca vial.	Se evalúa el porcentaje de desviación como $PD_A = \frac{A_m - A_e}{A_e} 100$	Se evalúa el porcentaje de desviación como $PD_L = \frac{L_m - L_e}{L_e} 100$	Se evalúa el porcentaje de desviación como $PD_C = \frac{C_m - C_e}{C_e} \cdot 100$
TOLERANCIAS	± 5%	± 5 cm	> 0 ≤ 5%	> 0 ≤ 5%	± 5%

donde: A_m; L_m y C_m = valor medio de las medidas y A_e; L_e y C_e = valor especificado para las medidas.

* Los requisitos de geometría vienen definidos en el Reglamento de la Circulación (referencia a la Norma8.2-I.C), excepto en lo que complemente el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

** El requisito de longitud de ciclo, no es exigible en los repintados, en los que se debe respetar el existente, pintando exclusivamente, desde el origen de la línea encontrada, la longitud de línea especificada.

NOTA: Las condiciones geométricas de las marcas viales no se modifican esencialmente durante su vida útil. Por otra parte, la eliminación de las marcas viales es siempre más difícil y costosa que su aplicación. Por estas razones debe ponerse especial atención al cumplimiento de la geometría durante las obras de primera implantación.

MAQUINARIA DE APLICACIÓN 6

En lo que sigue se exponen, en términos generales, las características de la maquinaria de aplicación para:

- Pinturas de aplicación en frío.
- Plásticos pulverizables en caliente (sprayplásticos - termoplásticos).
- Plásticos pulverizables en frío.
- Microesferas de vidrio (materiales de postmezclado).

6.1. PINTURAS EN FRÍO

Estas son las máquinas y productos más utilizados, hasta ahora, en la señalización horizontal en las carreteras españolas. Básicamente, una máquina de aplicación de pintura consta de uno o varios motores que generan la potencia suficiente tanto para el avance de la máquina como para el accionamiento del órgano (compresor o bombas) que permita transferir la pintura del depósito al dispositivo de aplicación (generalmente una pistola de pulverización con o sin aire). La concepción y elección de estos diferentes elementos y su conexión, conducen a una gama de máquinas de muy variadas y diversas posibilidades.

La aplicación de la pintura se realiza mediante pulverización con una pistola equipada con una boquilla de forma apropiada; la pintura llega bajo presión y es pulverizada bien por el aire que llega del compresor (pulverización con aire) o bien por alta velocidad y expansión rápida (pulverización sin aire o airless).

Para obtener una línea perfectamente perfilada, pueden utilizarse varios métodos:

1. Limitar el abanico de pintura con discos.
2. Limitar el abanico con faldones.
3. Combinación de pistolas con boquillas complementarias.
4. Alta presión (airless).

Los dos criterios fundamentales de selección a considerar sobre los dispositivos de aplicación son:

- La homogeneidad transversal (mismo espesor de película en todo el ancho de la línea).
- La regularidad en la anchura de la línea.

El método 1 de limitación de discos, fue ampliamente utilizado, aunque su uso prácticamente ha desaparecido debido a los inconvenientes que presenta. Los discos, efectivamente, aseguran el ancho de las líneas incluso permitiendo amplios márgenes de error en la altura de las pistolas y en la precisión de las boquillas. Esto puede conducir a graves diferencias de espesor transversal, que se traducen en la aparición de zonas oscuras para la retrorreflexión y en un desigual desgaste de la línea.

Un inconveniente adicional de este sistema es un desaprovechamiento parcial de la pintura, puesto que hasta un 5% del material no llega a la línea, quedando depositado sobre los discos. Este problema, con ser grave es todavía menor que el que produce ese 5% de pintura que debe tener un tratamiento de residuo industrial Como dato orientativo se puede calcular que utilizando este sistema se generarían anualmente más de 500 toneladas de pintura residual.

El método 2, es decir, limitar el abanico mediante faldones, tiene como único inconveniente que el perfilado de la línea no tiene la perfección de los discos, si bien las técnicas actuales permiten alcanzar grados de calidad más que suficientes; por el contrario, su gran ventaja es que para ajustar y mantener constante el ancho de línea, obliga al operario a una atención mayor sobre la altura y precisión de la boquilla, lo que inevitablemente conduce a una mayor homogeneidad transversal y por lo tanto a una mayor calidad de la marca vial. Evidentemente el aprovechamiento de la pintura en este tipo de aplicación es del 100%.

El método 3, es decir, limitar el abanico mediante el empleo de pistolas con boquillas complementarias, sin faldones, mejora considerablemente el perfilado de las líneas que pueden llegar a tener una calidad similar a la de las aplicaciones con discos; sin embargo, el empleo de una pistola más, aumenta el coste de mantenimiento y puede no ser siempre la mejor solución. Su empleo es, sin embargo, inevitable cuando se trate de líneas de ancho igual o superior a 30 cm. El aprovechamiento de la pintura es también del 100%.

El método 4, es decir, la aplicación mediante el empleo de pulverización por alta presión, proporciona líneas con un perfilado casi perfecto si bien no lo es tanto en lo que se refiere a la homogeneidad transversal. El inconveniente de este método, más conocido como airless, es su mayor coste de adquisición y la necesidad de adaptación de los materiales a los pequeños diámetros de boquillas utilizados (inconveniente cada vez menor debido a la mejora de los productos y de los equipos). Otro inconveniente es la necesidad de seleccionar las boquillas muy cuidadosamente entre aquellas que muestren una homogeneidad transversal aceptable (no mas del 10% de diferencia entre el centro y los bordes). Al igual que con los dos sistemas anteriores el aprovechamiento de la pintura es del 100% con la ventaja de evitar la pulverización seca debida al aire). Otra ventaja, y no pequeña, es que al emplear bombas volumétricas, existe la posibilidad de medir el caudal suministrado con gran precisión y sin obstrucción al paso de pintura.

En los métodos 2, 3 y 4 el ancho de la línea se obtiene graduando la altura de la pistola al pavimento y manteniendo esa distancia constante mediante su fijación solidaria a una rueda que se adapta en todo momento al perfil longitudinal de la carretera.

Si suponemos que mediante alguno de los sistemas mencionados anteriormente, o algún otro alternativo que pudiera proponerse, puede garantizarse el ancho, el perfilado y la distribución transversal homogénea de la pintura en la línea, el siguiente paso es conseguir que esa calidad permanezca en toda la longitud de la línea, es decir, conseguir su homogeneidad longitudinal.

El problema, por tanto, es conseguir que al dispositivo de aplicación llegue un caudal de pintura conocido y regulable para poder garantizar la dosificación requerida. La regularidad del caudal de pintura determina, de forma directa, la dosificación cuando la velocidad de la máquina es constante. Pero esta regularidad del caudal es función de un gran número de factores externos que afectan al flujo de fluidos no newtonianos, como son las pinturas.

En definitiva, la dosificación de la pintura depende directamente del caudal (considerando la máquina a velocidad constante) y éste del flujo de pintura, el cual, a su vez, está influido por la viscosidad cinemática de la pintura que depende de la temperatura, tensión de corte (presión en nuestro caso), velocidad de corte, densidad del líquido y de la naturaleza propia del producto.

Pero además, independientemente de estos factores, la distribución de los circuitos por los que debe circular la pintura, así como el diámetro útil de las conducciones, provoca pérdidas de carga en su transporte, por lo que la tensión de corte, a lo largo de los circuitos, puede variar considerablemente.

Asimismo, el tamaño y tipo de la boquilla, son obviamente factores de enorme influencia sobre el caudal suministrado en los casos en los que se utiliza aire como elemento de pulverización. Su

acción se produce justamente en la boquilla de salida de la pintura y su presión, denominada de pulverización, debe ser la suficiente para garantizar la homogeneidad transversal de la película, pero no demasiado alta para que no suponga un freno a la salida de pintura y por lo tanto disminuya el caudal previsto.

Por último, aún considerando que el caudal fuera constante, es necesario mantener igualmente constante la velocidad de la máquina para garantizar la dosificación longitudinal homogénea. En consecuencia, son muchos los factores para garantizar una dosificación constante y muchas las variables, que influyen sobre ellas, como son:

- temperatura.
- variaciones en la naturaleza del producto (principalmente modificaciones en la cantidad y tipo de disolventes).
- pérdidas de carga en los circuitos.
- desgastes en las boquillas.

cuyos efectos hay que compensar con variables controlables de la máquina tales como:

- tensión de corte (presión en depósito o en bombas).
- presión de pulverización (para casos de pulverización con aire).
- velocidad de avance.

El conocimiento de las interrelaciones entre unas y otras variables, fundamentalmente las que relacionan los caudales suministrados en función de las diferentes fuerzas de corte aplicadas, son de gran importancia para poder ejercer un control sobre las dosificaciones aplicadas (curvas de caudal).

El conocimiento de estas curvas, de todo punto necesario, sigue presentando algunas limitaciones, como el no ser evaluables más que para un tipo de pintura, a una temperatura dada y para un estado puntual de la máquina. La práctica cotidiana obliga a efectuar periódicamente un ajuste de las curvas básicas (ajuste en obra).

La importancia de estas variaciones viene avalada por los resultados obtenidos en diferentes estudios realizados sobre estas máquinas en los que se ha podido comprobar como:

- Variaciones de 10 ºC en la temperatura pueden producir modificaciones en el caudal de hasta el 25%.
- Un efecto similar puede originarse por la incorporación de diluyentes. Este efecto puede ser mucho mayor si el tipo o cantidad de diluyente llega a cambiar la reología o el tipo de flujo de la pintura.
- Pérdidas de carga en tuberías, filtros, etc, pueden provocar modificaciones en el caudal de hasta el 25%.
- El desgaste de una boquilla, puede producir desviaciones en el caudal de hasta el 10%.
- La apertura de una segunda pistola sobre la misma máquina (caso de los solapes) puede provocar una caída de caudal en la primera entre el 15% y 20%.

Muchas de estas variaciones se producen dentro de una misma jornada de trabajo, por lo que es necesario que el aplicador, a falta de automatismos en la máquina, tenga los conocimientos y experiencia suficientes para poder actuar, corrigiendo con sus controles los efectos producidos por los factores externos. Asimismo, la máquina debe tener los recursos técnicos necesarios para poderlo hacer, es decir, los citados controles para poder modificar las presiones en depósito, en bombas de atomización y potencia suficiente para garantizar el mantenimiento de los parámetros en las situaciones más extremas (máquina cargada subiendo pendientes del 8%).

Sin embargo, sólo el control automático del caudal o su conocimiento, puede garantizar la aplicación de la dosificación exigida. Las máquinas actuales no están normalmente equipadas para ello, pero existe tecnología suficiente para conseguirlo, siendo las soluciones de dos tipos:

1. Dependencia del caudal con el avance.

2. Conocimiento y control continuo del caudal y la velocidad.

La primera solución, supone una bomba que permita trabajar con este tipo de productos, en la que el caudal está comandado por el avance de la máquina.

La segunda solución necesita un caudalímetro y un tacómetro con una electrónica simple cuyas informaciones, las transforme en un único valor, que proporcione al conductor de la máquina la dosificación que aplica en cada momento. Esta segunda solución, tiene la ventaja de proporcionar un conocimiento exacto de la dosificación aplicada en cada momento pero tiene el inconveniente de no dosificar automáticamente, sino sólo poner en conocimiento del operario la dosificación aplicada. Por el contrario la primera tiene la ventaja de dosificar automáticamente pero el inconveniente de sólo ser fiable en un estrecho margen de velocidades, ya que el diámetro de la boquilla de salida no cambia. En el segundo caso se puede controlar la velocidad automáticamente de acuerdo a un valor de dosificación prefijado.

Por otra parte el uso de boquillas de tungsteno que evitan el desgaste de tuberías resistentes a los agentes químicos que eviten su deformación, de salidas independientes desde el depósito general a cada pistola, así como un adecuado estado de limpieza de filtros, conducciones y pistolas, mejoran considerablemente la fiabilidad de la máquina. En el caso particular de pinturas reticulables en emulsión acuosa es imprescindible el empleo de acero inoxidable en válvulas, juntas, racores, etc. para evitar gelificaciones, sobre todo por el contacto con cobre.

Es conveniente, desde el punto de vista del caudal, que el sistema de avance de la máquina sea continuo, es decir, de transmisión hidráulica, y que la potencia esté equilibrada con las prestaciones que se esperan de ella.

Existe, además, un buen número de características de las máquinas susceptibles de ser evaluadas, las cuales pueden configurar un cuadro más amplio de prestaciones que tienen que ver con la facilidad y rapidez de aplicación y que pueden constituir una lista como la siguiente:

AUTONOMÍA:

- Número de depósitos de productos.
- Capacidad total de productos.
- Capacidad total de esferas.

CAPACIDAD DE APLICACIÓN:

- Sistemas automáticos de modulación y sincronización.
- Maniobrabilidad.
- Anchura de máquina.

OTRAS PRESTACIONES:

- Agitadores.
- Refrigeración del aire de atomización.
- Circuitos de limpieza.
- Condiciones de seguridad activa y pasiva.
- Controles de temperatura y humedad relativa.
- Niveles de ruido.

Sobre todos los elementos y características se pueden exigir ciertos mínimos en los pliegos de prescripciones técnicas de las obras, para poder ser cualificadas como máquinas para marcas viales con diferentes clases o categorías (norma UNE 135277, partes 1 y 2)

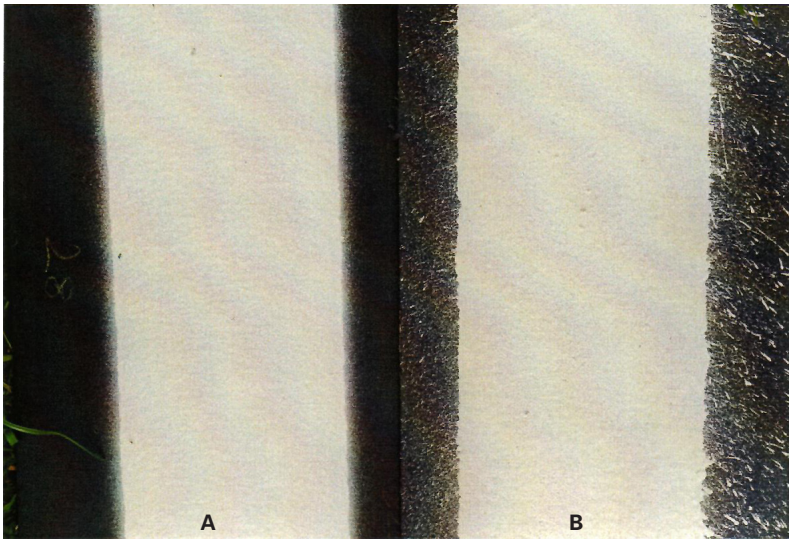


FIGURA 6.1.1. **MAQUINAS DE APLICACIÓN DE PINTURAS. A) LÍNEA APLICADA CON SISTEMA DE PULVERIZACIÓN SIN AIRE (AIRLESS). B) LÍNEA APLICADA CON SISTEMA DE PULVERIZACIÓN CON AIRE (NEUMÁTICA)**

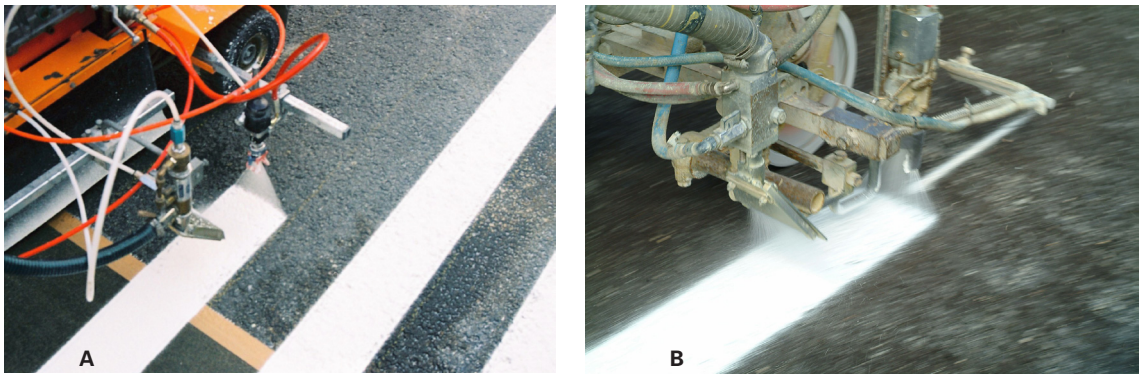


FIGURA 6.1.2. **MAQUINAS DE APLICACIÓN DE PINTURAS. A) APLICACIÓN CON SISTEMA DE PULVERIZACIÓN SIN AIRE (AIRLESS). B) APLICACIÓN CON SISTEMA DE PULVERIZACIÓN CON AIRE (NEUMÁTICA)**

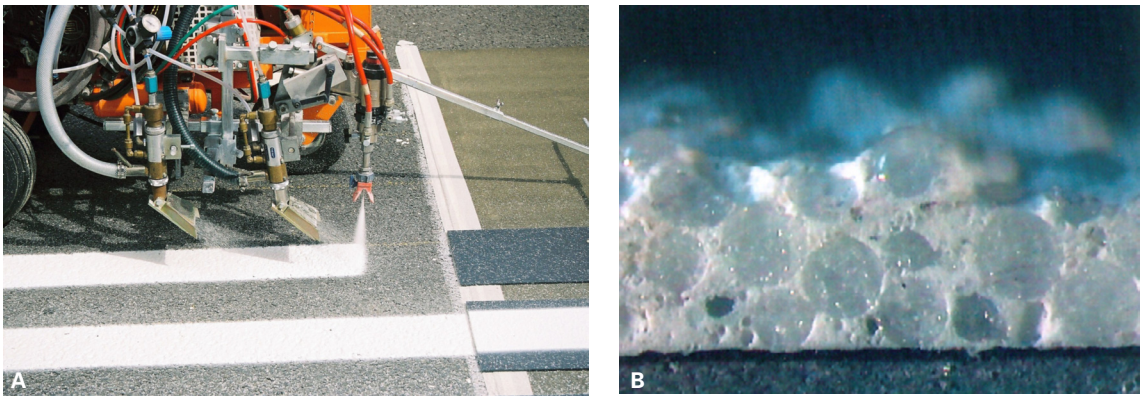


FIGURA 6.1.3. **SISTEMA DE DOBLE APLICACIÓN DE MICROESFERAS: POR INYECCIÓN Y POST-MEZCLADO. A) DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS. B) MARCA VIAL RESULTANTE.**

6.2. TERMOPLÁSTICOS

La aplicación de este tipo de productos por pulverización, se diferencia de la de las pinturas por que se realiza a alta temperatura (por encima de 200 ºC) y en que sus sistemas de cargas gruesas no permite el empleo de la técnica airless, existiendo otras particularidades que deben ser tenidas en cuenta.

El producto es de un contenido en sólidos del 100% y su comportamiento al flujo es el de un líquido plástico de elevada viscosidad, por lo que las pérdidas de carga en los circuitos son mucho mayores que en el caso de las pinturas, lo que obliga a que las conducciones tengan que ser de mayor diámetro, lo más cortas posible y evitar cualquier codo o trazado quebrado.

Es evidente que en el caso de las pinturas, la viscosidad depende de la temperatura, aunque en este caso la temperatura de que se habla es de alrededor de 200 ºC, por lo que la máquina debe disponer de sistemas de calentamiento de la cuba y calorifugación de las conducciones y pistola para mantener la temperatura a lo largo de todo el recorrido y por lo tanto la viscosidad y el caudal.

El dispositivo de aplicación, en este tipo de máquinas, es una pistola pulverizadora, calorifugada sin discos y portando habitualmente unas aletas o faldones , junto a la boquilla, que ayudan a la mejor delimitación de los bordes de la línea.

Es necesario tener absolutamente regulada y limpia la boquilla de aplicación, pues de ella depende la homogeneidad en el espesor de película, ya que, debido al tiempo de secado no hay posibilidad de autonivelación; si bien para mejorar la pulverización, debe exigirse como imprescindible el empleo de aire de atomización a alta temperatura.

La homogeneidad longitudinal es mucho más difícil de controlar mediante mecanismos automáticos, ya que debido a las temperaturas a las que trabajan no existen caudalímetros que sean de utilidad, aunque ya existen bombas que se accionan proporcionalmente al avance, tal como se menciona en el caso de las pinturas. En otro caso se hace necesario un cuidadoso control manual.

Otro problema específico de la aplicación de este tipo de material es que el producto, habitualmente suministrado en polvo, es un producto que en realidad no está terminado y su preparación debe efectuarse en calderas precalentadoras, las cuales deben ir equipadas de un buen sistema de agitación que permita una buena dispersión de las cargas y pigmentos y una potencia calorífica suficiente para calentar el producto en el menor tiempo sin producir sobrecalentamientos locales que pudieran dañar al producto o provocar inflamaciones. Es conveniente que exista un sistema termostático de regulación de la temperatura. La carga del material en polvo debe hacerse a la velocidad que permita que el agitador no se pare nunca. El resto de las características exigibles a las máquinas respecto a la facilidad y rapidez de aplicación, son similares a las de la pintura, aunque para comparar las autonomías de unas y otras en metros lineales aplicados, hay que tener en cuenta que el peso del material a aplicar por metro cuadrado es aproximadamente cuatro veces mayor, por lo que el tamaño de las máquinas es siempre mucho mayor y los requisitos en cuanto a potencia, aire y poder calorífico, deben ser mucho más exigentes.

En este tipo de máquinas, al trabajar a altas temperaturas y con productos inflamables, es preciso cuidar al máximo las condiciones de seguridad de los equipos (sobre todo en los trasvases), de los operarios y de los métodos de trabajo.

La aplicación por extrusión permite la ejecución de líneas y de resaltes o marcas viales estructuradas. A la ausencia de atomización, los problemas particulares presentados por estos equipos se pueden resumir en los siguientes:

1. En la ejecución de líneas mediante la caída de una cortina se produce un estrechamiento entre el ancho de salida del extrusor y el punto de contacto que puede variar entre 2 cm y 3 cm, dependiendo de la tensión superficial del material, por lo que el ancho de salida debe de ser regulable en esa magnitud.

2. En la ejecución de resaltes se pueden presentar desajustes entre las aperturas y cierres de válvulas que provocan alteraciones en la geometría del resalte.

3 El termoplástico adhiere fundamentalmente por calor (producto entre la temperatura y la masa) por lo que el control de la propia temperatura y de la cantidad aplicada es crítico.

FIGURA 6.2.1. **MÁQUINAS APLICANDO TERMOPLÁSTICO EN CALIENTE POR PULVERIZACIÓN**

FIGURA 6.2.2. **MÁQUINA APLICANDO TERMOPLÁSTICO POR EXTRUSIÓN**

FIGURA 6.2.3. **MÁQUINA MIXTA PARA PULVERIZACIÓN Y EXTRUSIÓN DE ALTO RENDIMIENTO**

6.3. PLÁSTICOS EN FRÍO

El dispositivo de aplicación de este tipo de productos puede, en principio, considerarse como similar a los utilizados con la pintura, excepción hecha de la imposibilidad de utilizar discos limitadores, pues la rápida reacción del producto los anularía a los pocos metros.

A diferencia de las pinturas y termoplásticos en caliente este tipo de productos requiere obligatoriamente el empleo de bombas dosificadoras que permitan con el mínimo error el suministro de cada componente en las proporciones establecidas por el fabricante del producto y que la mezcla se realice sin que exista posibilidad de retorno, una vez hecha.

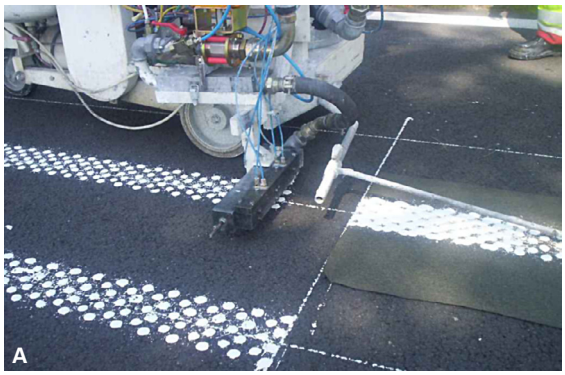
Uno de los problemas más importantes con que se enfrenta el aplicador en este tipo de equipos, es la necesidad de estar siempre seguro de que al punto de mezcla (interior o exterior) llegan las proporciones deseadas de los componentes, por lo que es imprescindible la instalación de elementos de control y alarma, por si esto no ocurriera, ya que las consecuencias podrían ser de gravedad, pues el producto no seca por contacto con el aire, sino por una reacción química de polimerización catalizada por uno de los dos componentes.

Otro problema importante es que el producto, una vez mezclado, reacciona incluso dentro de las conducciones, por lo que períodos de parada superiores a la vida de la mezcla, pueden originar serias averías, lo que obliga a disponer de un rápido y eficaz sistema de limpieza en la cabeza mezcladora.

Estas particularidades han sido resueltas de diversas formas por los diferentes fabricantes, pero en cualquier caso implica siempre una máquina, no más complicada, pero más compleja que las de pintura, por lo que la cualificación del personal adscrito a ellas, debe ser, asimismo, superior.

Una vez realizada la mezcla, la obtención de la dosificación adecuada y su aplicación, no difiere en su problemática de la expresada para la pulverización de la pintura, por lo que todo lo dicho en su tratamiento, es de completa validez aquí.

Existen otros tipos de aplicaciones que permiten ejecutar la aplicación de estos materiales formando distintos tipos de marcas viales estructuradas tipo botones, barritas o más modernamente los llamados conglomerados o gotelé que constituyen buenas alternativas a la creación de marcas viales tipo II de alta duración y antideslizantes.



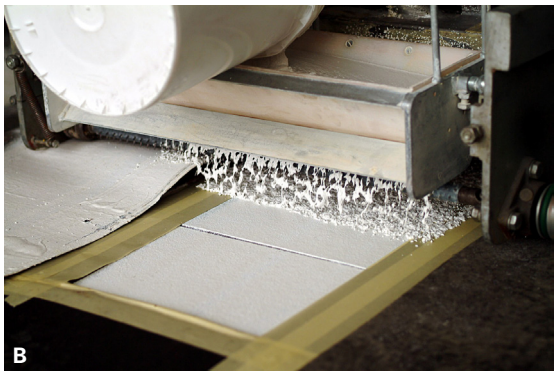


FIGURA 6.3.1. **MÁQUINAS DE APLICACIÓN DE PLÁSTICO EN FRÍO. A) BOTONES. B) GOTELÉ.**

6.4. MATERIALES DE POST-MEZCLADO, MICROESFERAS DE VIDRIO

La calidad inicial de la marca vial depende, en gran manera, de la aplicación y la final (para las pinturas y plásticos en frío) de la propia calidad de las microesferas y de la forma en que éstas quedan sujetas a la película de pintura, u otro producto, por lo que su aplicación adquiere una importancia fundamental sobre el resultado final.

Es necesario que el aplicador pueda graduar la cantidad de microesferas que se añaden a la película de producto, la fuerza con que lo hacen, en función del tipo de producto y su distribución homogénea. Básicamente existen cuatro tipos de aplicación en función de la impulsión con que son aplicadas: gravedad; depresión; presión e inyección.

6.4.1. DISTRIBUCIÓN POR GRAVEDAD

Como su propio nombre indica, son sistemas en los que las microesferas caen bajo el efecto único de su peso y existen infinidad de diseños que permiten una buena distribución transversal e incluso cuando se usan tornillos sinfín accionados por el propio avance de la máquina, se consigue una perfecta dosificación y distribución.

Este sistema exige, con más razón que cualquier otro, que las esferas estén situadas en la parte superior de la máquina, que haya una tubería lo más ancha posible y con el camino más recto y perpendicular posible hasta el distribuidor.

La aplicación por gravedad es imprescindible siempre que la máquina no disponga de un excedente de aire comprimido y de utilidad en aquellos casos en que una proyección más fuerte de las esferas ocasionase su hundimiento en la película de pintura.

Otro inconveniente de este sistema es que las esferas, al no ir propulsadas, son susceptibles de ser desplazadas fácilmente por el viento, por lo que caso de ser utilizado este sistema en esas condiciones, es preciso cubrir su trayectoria con un faldón casi hasta el suelo.

La experiencia demuestra, asimismo, que para anchos de línea, superiores a 30 cm, el sistema que distribuye más homogéneamente las esferas es el tornillo sinfín por gravedad.

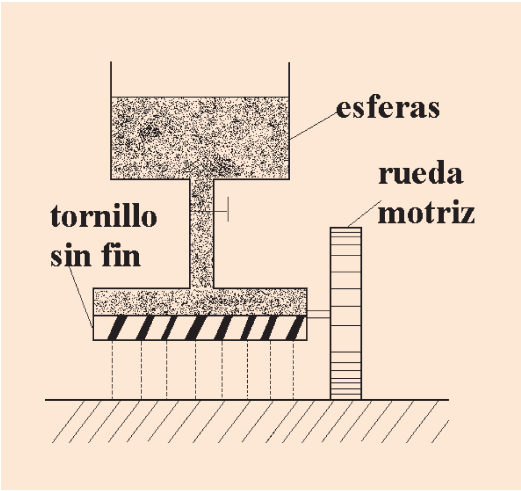


FIGURA 6.4.1. **ESQUEMA DE LA APLICACIÓN DE ESFERAS POR GRAVEDAD CON UN TORNILLO SINFÍN**

6.4.2. DISTRIBUIDOR POR DEPRESIÓN

También existe una infinidad de diseños, todos ellos basados en el efecto Venturi, mediante el cual se crea un vacío que hace que las esferas sean absorbidas del depósito y que ese mismo aire, e incluso otro adicional junto a las esferas, lo distribuya mediante un difusor en forma de cola de pez.

El problema de este sistema es que prácticamente es imposible graduar con exactitud el caudal, pues un aumento de la presión de aire no siempre conduce a un aumento de dosificación, tal como se comprueba experimentalmente.

Tienen la ventaja de su fácil instalación, ya que no necesitan presurización en el tanque de esferas, y de contar con la ayuda de una fuerza de proyección que incorpora las esferas a la película de pintura cuando es necesario. Al igual que en el caso anterior, hay que cuidar las caídas verticales de los tubos y, en este caso, mantener los respiraderos limpios, para impedir la formación de burbujas o cámaras de aire en el suministro y por lo tanto, la aplicación de microesferas a impulsos discontinuos.

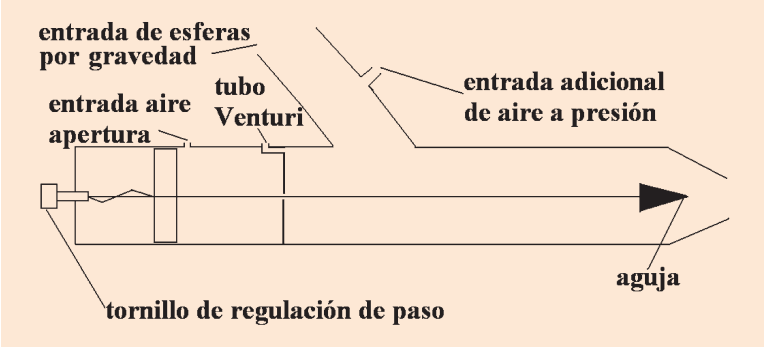


FIGURA 6.4.2. **ESQUEMA DE UN DISTRIBUIDOR DE ESFERAS POR DEPRESIÓN**

6.4.3. Distribución por presión

En este caso se requiere ya un tanque de esferas presurizado, desde donde son impulsadas a la pistola aplicadora, y en este caso el caudal puede graduarse mejor al responder linealmente a aumentos de presión. La distribución se hace mediante pulverización y, habitualmente, con la ayuda de un distribuidor en forma de cola de pez.

El principal inconveniente de este método es la menor capacidad, normalmente, de los tanques de esferas por problemas de forma, al tener que ir presurizados. Otro inconveniente es la incorporación de humedad en el aire del depósito, por lo que debe ser previamente desecado, para evitar problemas de aglomeración de las esferas que dificulten su aplicación.

Sin embargo, el empleo de este sistema se hace casi imprescindible en las aplicaciones de termoplásticos, ya que permite una rápida y fuerte incorporación de las esferas a una película que seca casi instantáneamente.

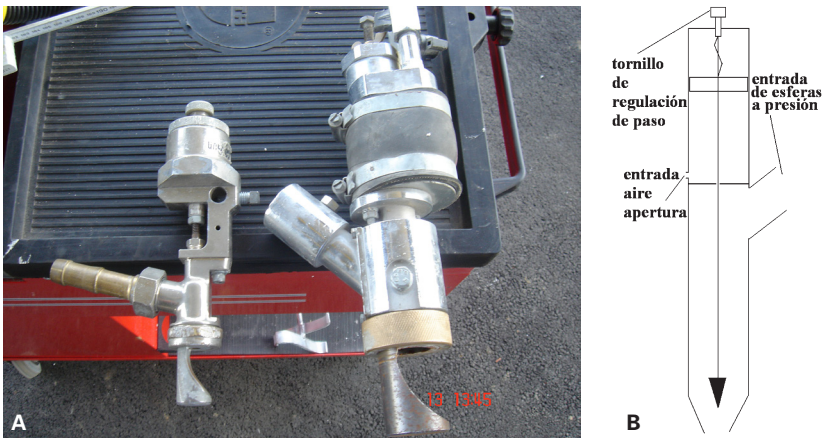


FIGURA 6.4.3. **DISTRIBUIDOR DE MICROESFERAS A PRESIÓN. A) PISTOLA REAL, B) ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO.**

6.4.4. Distribución por inyección

Una extensión de la aplicación por presión la constituye la aplicación por inyección. Este tipo de aplicación se basa en dirigir el chorro de microesferas al abanico de pintura antes de llegar al pavimento. En esas condiciones las microesferas son absorbidas por el material y adquieren la condición equivalente a la de esferas de premezclado. Estas esferas tienen habitualmente la finalidad de incrementar notablemente el espesor de la película de pintura y además, actuando a modo de carga proporcionar una alta resistencia a la película resultante.

Naturalmente esta aplicación se completa con una aplicación adicional de microesferas por post-mezclado para proporcionar la retrorreflexión inicial a la marca vial.

FIGURA 6.4.4. **DISTRIBUIDOR DE ESFERAS POR INYECCIÓN**

SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

7

Si se pudiera cuantificar la influencia de todos los factores que afectan a la evolución de las marcas viales se podrían obtener modelos matemáticos de comportamiento que permitieran predecir la vida útil de las marcas viales y, por tanto, establecer de una forma automática los criterios de mantenimiento. La determinación del factor de desgaste descrito en el apartado 4.2.1 supone una aproximación a este problema pero no una solución definitiva. Algunas experiencias llevadas a cabo por la Universidad de Iowa y un pre-estudio de la administración sueca de carreteras constituyen la escasa bibliografía existente sobre esta materia.

Por otra parte, si difícil es cuantificar los factores de influencia en la evolución de las marcas viales más difícil se antoja cuantificar la respuesta que cada material presenta a cada uno de los factores por separado y agrupados. El ensayo de durabilidad (tanto en simulador como en campos de ensayo) así como la determinación de la compatibilidad descrita en el apartado 4.2.2 suponen de nuevo una aproximación al problema pero no su solución definitiva.

Tanto en Estados Unidos como en Europa están abiertas líneas de trabajo que tienen como objetivo dar respuesta a estos problemas, pero mientras tanto se pueden establecer algunas recomendaciones para un mantenimiento eficaz de las marcas viales.

Los fundamentos para un buen mantenimiento pasan por disponer de la siguiente información:

a. Inventariar las marcas viales objeto de mantenimiento.

b. Estimar las causas de fallos observados (desgaste, falta de adherencia, suciedad etc.).

c. Comprobar el cumplimiento en lo que se refiere a la geometría.

d. Estimar las necesidades de premarcaje y replanteo (si las marcas han desaparecido o no están correctamente implantadas).

e. Estimar las necesidades de determinación de visibilidades (las condiciones de visibilidad de las carreteras pueden cambiar).

f. Determinar las necesidades de rebordear de negro la marca vial (cuando el factor de luminancia del pavimento es superior a 0,15).

g. Estimar las necesidades de levantamiento de capas, cuando existe un número excesivo de ellas que hagan aconsejable su eliminación previa (se recomienda la eliminación previa cuando existen 5 capas de pintura o 3 de productos de capa gruesa). La Nota de servicio 2/2007 dice al respecto que: *«Teniendo en cuenta que el número de capas de pintura que se pueden superponer no es ilimitado, se comprobará previamente la posibilidad de repintar sobre la marca existente. En caso de ser incompatible se procederá previamente a la eliminación del material existente de acuerdo con lo especificado en el apartado 700.6.4 del PG-3».*

h. Estimar las necesidades de limpieza sistemática y profunda del pavimento, en particular, en las marcas viales laterales de carreteras sin arcén.

i. Estimar las necesidades de señalización temporal y si esta debe ser eliminable o no.

1. Fijar les especificaciones técnicas en cuanto a:

   a. Los valores mínimos de los requisitos exigibles y los períodos de garantía.

      A este respecto, además de lo especificado en el PG-3 se tendrá en cuenta la Nota de servicio 2/2007 en la que se establece: *«criterio de mantenimiento preventivo que todas las marcas viales de autopistas y autovías, así como de carreteras de calzada única con intensidades medias diarias superiores a 5000 vehículos/día deberán repintarse cuando el valor indicativo de la retrorreflexión sea inferior a 150 mcd·m^{-2}·lx^{-1}. En cualquier circunstancia, cuando en una marca vial se alcance el valor mínimo de 100 mcd·m^{-2}·lx^{-1}, el repintado se llevará a cabo de forma inmediata».*

   b. Selección y especificación de los sistemas y materiales de acuerdo a criterios objetivos y a la experiencia local y aceptar solamente materiales certificados.

   c. Especificar para la aplicación:

      – La maquinaria capaz de controlar las dosificaciones de los materiales y su distribución homogénea.

      – La cualificación de los aplicadores (cursos de formación específicos)

      – Un plan de calidad o, al menos, un sistema de registros capaz de garantizar la trazabilidad de las marcas viales aplicadas que pueda dar lugar a una completa base de datos.

2. Fijar prioridades de actuación en función del presupuesto.

3. Implantación de un control sistemático, sobre los resultados, basado en medidas instrumentales periódicas.

4. Establecer una sistemática de realimentación del proceso para mejorar la calidad del proceso.

Todo ello se encuentra resumido en el diagrama de gestión del mantenimiento de la señalización horizontal que aparece en la figura 7.1

La adopción de un sistema como este ofrece la posibilidad de confrontar los resultados obtenidos en el control sistemático y periódico con la información proveniente de la trazabilidad (base de datos).

Si se aplica correctamente el sistema, se pueden obtener grandes ventajas para:

– La seguridad vial: permite tener datos actualizados de los parámetros especificados para las marcas viales, y por lo tanto garantizar su visibilidad.

– El gestor de la carretera: resulta más fácil aplicar los recursos y si es necesario, reclamar y ejecutar garantías.

– Los responsables de la conservación: les permite conocer la lista de prioridades y en consecuencia, mejorar la gestión del presupuesto y también avanzar y mejorar en los criterios de selección de materiales y sus dosificaciones.

– Los fabricantes de materiales: con este sistema es posible comprobar la durabilidad de cada parámetro, bajo condiciones reales de desgaste, en una gran variedad de situaciones y en consecuencia, proporciona una inmejorable fuente de información para mejorar sus propios materiales, pues cada trabajo puede considerarse como un ensayo.

– Los aplicadores de marcas viales: al estar obligados a garantizar la trazabilidad de las aplicaciones, disponen de una valiosa información para mejorar sus controles internos. Este hecho, junto con el mejor seguimiento de la garantía, conducirá a los propios aplicadores a promover sus propios Sistemas de Calidad, o en cualquier caso a mejorar la calidad de sus trabajos. De esta forma se podría evitar o minimizar considerablemente el punto de control más difícil y costoso, como es el control de la ejecución en un sistema clásico de gestión de obras de la señalización horizontal.

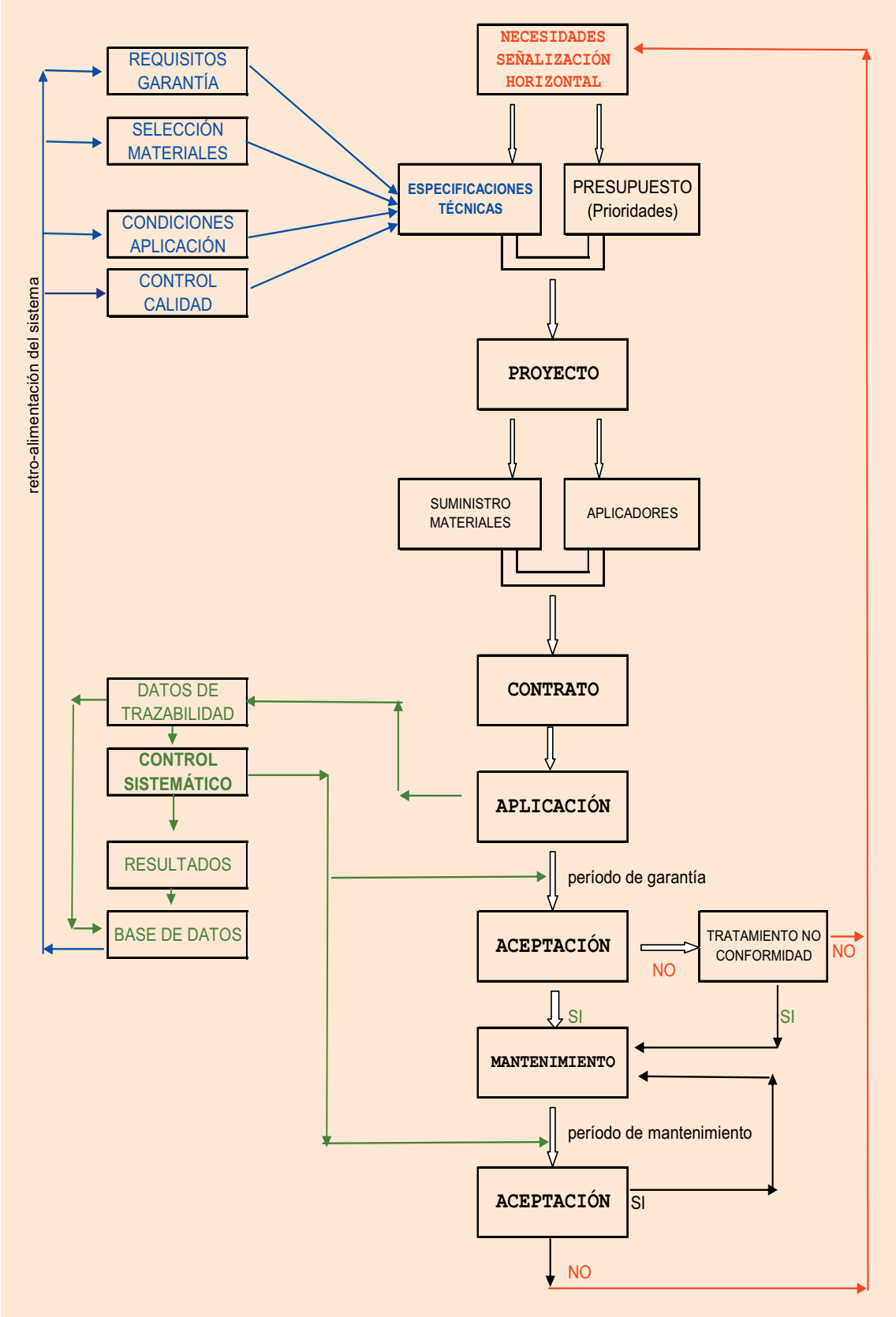


FIG 7.1. **DIAGRAMA DE GESTIÓN DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL**

En la lista que sigue se proporcionan los datos que sería recomendable registrar y conservar en la base de datos.

DATOS DE TRAZABILIDAD

IDENTIFICACIÓN DE LA MARCA VIAL (proyecto y parte diario)

- Localización.
- Tipo.
- Geometría.

IDENTIFICACIÓN MATERIALES (albaranes y fichas técnicas y parte diario):

- Identificación de los materiales.
- Naturaleza e instrucciones de aplicación.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS (parte diario):

- Identificación del aplicador.
- Tipo de máquina.
- Condiciones meteorológicas.
- Lotes de materiales aplicados y localización.
- Dosificaciones reales aplicadas.
- Observaciones.

DATOS DE RESULTADOS:

- Localización
- Fecha de la evaluación.
- Equipo de medida (calibración).
- Resultados.
- Observaciones.

DATOS DE LA CARRETERA (factor de desgaste):

- Tipo de carretera.
- Ancho de la calzada.
- Naturaleza del pavimento.
- Macrotextura.
- IMD.
- Factor de luminancia del pavimento.
- Datos de la marca vial existente, si así fuera:
  - — Número de capas.
  - — Naturaleza de la última.

DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ZONA:

Incluir mantenimiento invernal (si existe)

TERMINOLOGÍA (DEFINICIONES)

Marca vial: es una guía óptica, reflectorizada o no, situada sobre la superficie de la calzada, formando líneas o signos, con fines informativos y reguladores del tráfico.

Sistema: material de señalización vial horizontal puesto en el mercado con instrucciones y proporciones de aplicación concretas cuya marca vial resultante tiene certificado un uso asignado y un nivel de durabilidad.

Marca vial prefabricada: marca vial producida en fábrica, en forma de cintas, láminas, etc., capaces de ser fijadas al substrato mediante adhesivos, calor, presión o una combinación de ellos, que tiene certificado un uso y un nivel de durabilidad.

Marcado CE (para un producto de señalización vial horizontal): indica que los productos cumplen alguna de las condiciones siguientes:

a) Que son conformes con normas transpuestas de normas armonizadas.

b) Que son conformes con un documento de idoneidad técnico europeo.

Como es bien conocido, el marcado CE es una condición necesaria para la comercialización de los productos pero cada Estado Miembro de la Unión Europea puede escoger las características y clases que se acomoden al nivel de seguridad que requiera para sus aplicaciones.

Un producto de señalización vial horizontal portador del Marcado CE puede ser puesto en obra bajo diferentes dosificaciones o formas de aplicación (sistemas que deben estar certificados) con el fin de verificar su aptitud para distintos usos. Los diferentes sistemas certificados de un solo producto constituyen la familia del material base.

El Marcado CE y sus documentos tienen que presentarse, en lengua castellana.

Certificado de conformidad CE (para los productos de señalización vial horizontal): certificación otorgada por un Organismo autorizado y notificado a estos efectos que autoriza al fabricante o su representante a imprimir la marca CE , lo que presupone:

a) Que el fabricante dispone de un sistema de control de producción en fábrica mediante el cual garantiza que la producción es conforme con las especificaciones técnicas correspondientes.

b) Que el producto cumple los requisitos esenciales establecidos en la correspondiente norma armonizada.

Documento de Idoneidad Técnica Europea (DITE): evaluación técnica favorable de la aptitud de un producto para el uso asignado, otorgado por un Organismo autorizado al efecto, fundamentado en el cumplimiento de un procedimiento consensuado de aprobación técnica (CUAP).

Documento de Idoneidad Técnica PLUS: es un documento de carácter voluntario expedido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja - IETCC -, que contiene una apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo del sistema de señalización horizontal para el uso asignado. Evalúa aspectos voluntarios no cubiertos o complementarios a los contemplados por el marcado CE.

Declaración de conformidad del fabricante: en la que el fabricante declara que el producto es conforme con lo especificado en la concesión del marcado CE o del DITE y que se mantienen todas sus características de comportamiento e identificación, así como de control de producción.

Certificado de durabilidad (para un sistema de marcado vial conforme a UNE EN 13197): documento que verifica las clases de comportamiento, el uso asignado y el nivel de durabilidad junto la identificación de sus componentes (nombres comerciales y fabricantes) y sus instrucciones de aplicación.

Declaración de fabricante (para un material estándar): documento emitido por el fabricante en el que un material queda identificado por su nombre comercial, procedencia, instrucciones de uso y almacenamiento, sus requisitos y características de identificación, con los valores y tolerancias a que hubiera lugar, de acuerdo con lo definido en sus correspondientes normas: UNE 135200-2 para pinturas, termoplásticos de aplicación en caliente y plásticos de aplicación en frío; UNE EN 1423 y UNE 135287 para productos de post-mezclado; UNE EN 1424 para microesferas de vidrio de premezclado y UNE EN 1790 para marcas viales prefabricadas.

Ficha técnica de una máquina o equipo de aplicación específica: Documento emitido por el contratista o un tercero autorizado, en el que una máquina de aplicación de señalización horizontal queda identificada de acuerdo con el modelo de ficha técnica definida en el anexo A de la norma UNE 135277-1.

Trazabilidad (de una marca vial): Sistema de registros suficiente que permite conocer, para cada localización de la marca vial aplicada, la historia de sus componentes y los detalles significativos de su aplicación

Vida útil (de una marca vial): Período durante el cual la marca vial cumple con todas las clases de comportamiento previamente requeridas.

Marca vial estructurada (en el sentido de no permitir las medidas de factor de luminancia ß y/o de SRT): marca vial con una superficie estructurada que no tiene áreas de dimensiones regulares ni planas. Puede ser debido a la presencia de dibujos, resaltes, gotelé u otros diseños.

INSTRUCCIONES, NORMAS Y DISPOSICIONES APLICABLES

9

— Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el texto articulado de la **Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.**

— Real Decreto 965/2006, de 1 de septiembre, por el que se modifica el **Reglamento General de Circulación**, aprobado por Real Decreto, 1428/2003, de 21 de noviembre (B.O.E. núm. 212, de 5 de septiembre).

— Real Decreto 1630/1992 de 29 de diciembre sobre. **Disposiciones para la libre circulación de productos de la construcción.**

— Real Decreto 1328/1995, de 28 de julio. Modificaciones al R.D. 1630/1992 sobre disposiciones para la libre circulación de productos de la construcción».

— Instrucción de Carreteras **Norma 8.2-IC. Marcas viales**. Ministerio de Fomento.

— Instrucción de carreteras **Norma 8.3-IC «Señalización de obras»** y su anexo. Señalización móvil de obras». Ministerio de Fomento.

— **Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes** de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, aprobado por Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1999; (B.O.E, 28 de enero de 2000).

— Nota de Servicio 2/07 sobre los **criterios de aplicación y de mantenimiento de las características de la señalización horizontal.**

— Norma UNE EN 1423:1998/A1:2004 **«Materiales para la señalización vial horizontal. Materiales de post-mezclado. Microesferas de vidrio, agregados antideslizantes y mezclas de ambos».**

— Norma UNE EN 1424: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Microesferas de vidrio de premezclado».**

— Norma UNE EN 1436:2009+A1: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Comportamientos de las marcas viales aplicadas sobre la calzada».**

— Norma UNE EN 1790: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Marcas viales prefabricadas».**

— Norma UNE EN 1871: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Propiedades físicas».**

— Norma UNE EN 12802: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Métodos de laboratorio para la identificación».**

— Norma UNE EN 13197: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Simuladores de desgaste. Mesa giratoria».**

— Norma UNE EN 13459: **«Materiales para la señalización vial horizontal. Toma de muestras de almacenes y ensayos».**

— Norma UNE 135204: **«Materiales para señalización vial horizontal. Control de la calidad. Comportamiento en servicio».**

— Norma UNE 48 026: **«Pinturas y barnices. Brillo especular».**

— Norma UNE 135200: **«Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Especificaciones de los materiales»**

— Norma UNE 135214-1: **«Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Marcas viales. Visibilidad diurna de las marcas viales en relación con el pavimento que las soporta. Determinación puntual de la relación de contraste (Rc) mediante el factor de luminancia de las marcas viales con el pavimento».**

— Norma UNE 135214-2: **« Equipamiento para la señalización vial - Señalización horizontal - Marcas viales - Visibilidad diurna de las marcas viales en relación con el pavimento que las soporta. Determinación del contraste diurno (Cd) mediante las luminancias de las marcas viales y el pavimento».**

— Norma UNE 135277-1: **«Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Maquinaria de aplicación. Parte 1: Clasificación y características».**

— Norma UNE 135277-2: **«Equipamiento para la señalización vial. Señalización horizontal. Maquinaria de aplicación. Parte 2: Métodos de ensayo».**

SISTEMAS RECOMENDADOS PARA CADA COMBINACIÓN DURABILIDAD/RUGOSIDAD

Con frecuencia se plantea la cuestión del significado que tiene en términos de vida útil en la realidad, la clase de durabilidad obtenida por un sistema en el simulador. La respuesta no resulta fácil ya que la realidad es muy compleja y el mismo sistema puede dar diferentes resultados en función de las distintas condiciones a la que es sometido y sobre todo de cómo es aplicado; incluso el propio Mandato de normalización emitido por la Comisión Europea, M/111, que se refiere al equipamiento de carreteras y que recoge las características que son necesarias para cumplir con los requisitos esenciales de la Directiva 89/106/CEE del Consejo de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción dice que la durabilidad nunca debe interpretarse como una garantía de su resultado en obra. No obstante, esta guía pretende proporcionar una respuesta en dos etapas.

1) Mediante el cálculo del factor de desgaste y su correspondencia con un nivel de durabilidad (véase apartado 4.2.1). En el cálculo del factor de desgaste se hacen intervenir varios factores relacionados con el número de pasos de rueda que soporta una marca vial en una carretera: ubicación, trazado, ancho de calzada e IMD y otro que lo relaciona con la rugosidad.

2) Selección de la naturaleza del material más compatible con el pavimento (véase apartado 4.2.2), en función de si es obra nueva o repintado.

Además, en el apartado 2.4.1 se exponen otros aspectos relativos a la compatibilidad con el pavimento y con su adecuación a las condiciones climáticas.

Por último, en la descripción de los distintos materiales se da información sobre la respuesta que pueden dar los distintos materiales y tipos de aplicación a las especiales condiciones de mantenimiento invernal.

En general, el método da respuesta a los dos factores que, con mucho, son los de mayor influencia en la vida útil de las marcas viales como son por este orden: la rugosidad y el número de pasos de rueda soportado (hay que tener en cuenta que una marca vial en eje de una calzada de autopista con IMD = 20 000 puede tener menor número de pasos de rueda que una carretera convencional de 6 m de ancho y trazado sinuoso con IMD = 2 000). Sin embargo, el simulador de desgaste ha permitido ensayar el efecto conjunto de ambos factores (paso de rueda y rugosidad) sobre probetas de rugosidad estándar e incluso de rugosidad copiada de la propia carretera.

En el desarrollo de los trabajos del programa europeo para la medida de la durabilidad de las marcas viales se ha procedido a medir la importancia del efecto de la rugosidad o textura del pavimento sobre la durabilidad de las características esenciales de una marca vial aplicada sobre tres tipos de pavimento de rugosidad diferente (expresada en altura de arena) y sometidos al simulador de desgaste hasta dos millones de pasos de rueda, habiéndose obtenido los resultados que se muestran en la figura A.1. En ellas se puede ver con claridad la significativa influencia negativa de la rugosidad sobre las características fotométricas (retrorreflexión, factor de luminancia y coeficiente Qd).

Por el contrario, las propiedades de resistencia al deslizamiento mejoran significativamente con la rugosidad del pavimento. En consecuencia, el mismo material debería ser probado bajo diferentes rugosidades a fin de proporcionar esta útil información a los gestores de la carretera, cuando tengan que elegir los materiales que deben ser aplicados en tramos de carreteras sobre diferentes tipos de rugosidad.

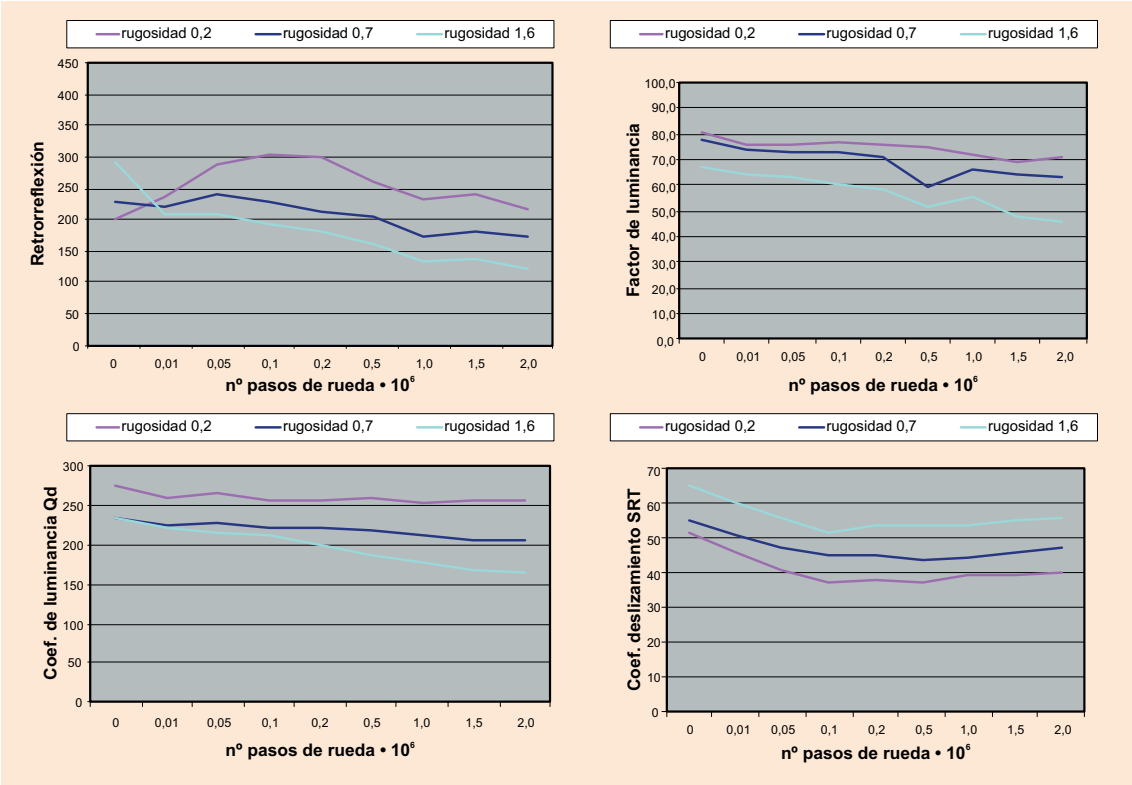


FIGURA A.1. **EVOLUCIÓN DE LA RETRORREFLEXIÓN, FACTOR DE LUMINANCIA, COEFICIENTE DE LUMINANCIA QD Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO SRT DE LA MISMA MARCA VIAL, EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PASOS DE RUEDA SOBRE PROBETAS DE TRES RUGOSIDADES DIFERENTES**

Un primer intento de modelizar la evolución de la retrorreflexión (RL) de una marca vial (durabilidad) en función de los parámetros de mayor influencia: rugosidad (r) y nº de pasos de rueda (t) condujo a una superficie de respuesta como la que se representa en la figura A.2.

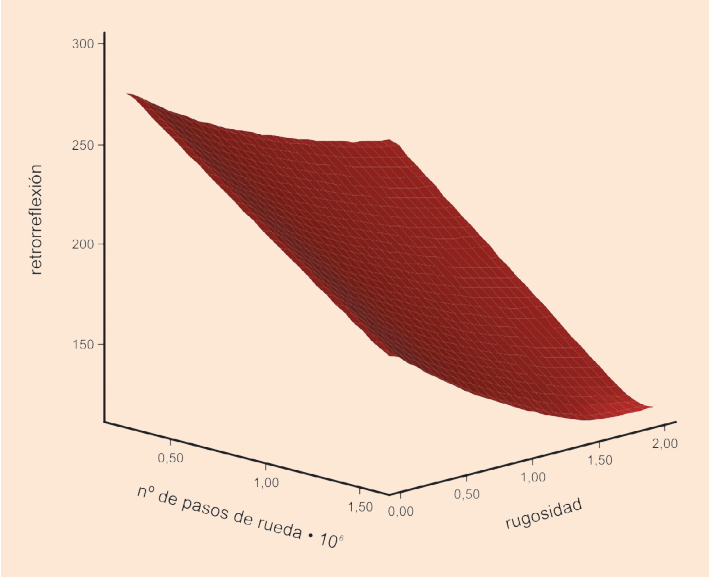


FIGURA A.2. **FORMA DE LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN**

La experiencia desarrollada en el simulador de desgaste permite corroborar estos resultados y proporcionar las recomendaciones generales de los materiales que pueden aconsejarse para cada combinación de nivel de durabilidad y rugosidad en la tabla A.1

TABLA A.1. **RECOMENDACIONES DE EMPLEO PARA CADA COMBINACIÓN DURABILIDAD/RUGOSIDAD**

NIVEL DURABILIDAD P	CLASE DE RUGOSIDAD: RG			
	RG1	RG2	RG3	RG4
P4	PINTURAS BAJA DOSIFICACIÓN	PINTURAS	PINTURAS ALTA DOSIFICACIÓN (Ó APLICADAS CON INYECCIÓN DE ESFERAS) TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN	TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN PLÁSTICOS EN FRÍO POR PULVERIZACIÓN
P5	PINTURAS BAJA DOSIFICACIÓN	PINTURAS	PINTURAS ALTA DOSIFICACIÓN (Ó APLICADAS CON INYECCIÓN DE ESFERAS) TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN	TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN PLÁSTICOS EN FRÍO POR PULVERIZACIÓN
P6	PINTURAS	PINTURAS TERMOPLÁSTICOS PULVERIZACIÓN	PINTURAS ALTA DOSIFICACIÓN (Ó APLICADAS CON INYECCIÓN DE ESFERAS) TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN PLÁSTICOS EN FRÍO POR PULVERIZACIÓN	TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN ALTA DOSIFICACIÓN PLÁSTICOS EN FRÍO POR PULVERIZACIÓN CINTAS
P7	PINTURAS TERMOPLÁSTICOS PULVERIZACIÓN	PINTURAS TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN PLÁSTICOS EN FRÍO POR PULVERIZACIÓN	PINTURAS ALTA DOSIFICACIÓN (Ó APLICADAS CON INYECCIÓN DE ESFERAS) TERMOPLÁSTICOS POR PULVERIZACIÓN ALTA DOSIFICACIÓN PLÁSTICOS EN FRÍO POR PULVERIZACIÓN Y CINTAS	TERMOPLÁSTICOS POR EXTRUSIÓN (ALTA DOSIFICACIÓN) PLÁSTICOS EN FRÍO EN CAPA GRUESA (ALTA DOSIFICACIÓN) CINTAS

a. RG1 y RG2, puede considerarse, en general, aplicable a los casos de repintado (hay que tener precaución sobre una rugosidad original RG4)
b. Dosificación baja en pintura significa igual o inferior a 600 g/m². En todo caso debe estar acreditado en el ensayo de durabilidad
c. Cuando no se dice otra cosa se entiende que la dosificación es la estándar que figura en la tabla 4.1.1
d. Dosificación alta en pintura significa igual o superior a 850 g/m².
e. La inyección significa una sobredosificación en materiales de post-mezclado aplicados en dos pasos, conforme a lo acreditado en el ensayo de durabilidad
f. En cada casilla se pretenden indicar las soluciones que se consideran económicamente más razonables aunque el mercado y la tecnología puede ofrecer más posibilidades y EN CUALQUIER CASO SIEMPRE ES VÁLIDO EL SISTEMA ACREDITADO EN EL ENSAYO PARA LA COMBINACIÓN P/RG REQUERIDA.

CONTROL DEL PROCESO DE APLICACIÓN

El proceso de aplicación tiene que considerarse, como mínimo, tan importante como la calidad de los materiales. Su control debe basarse en verificar la capacidad del aplicador con sus medios técnicos y humanos de aplicar las dosificaciones exigidas, con una adecuada homogeneidad transversal, respetando las limitaciones (principalmente climáticas) y la geometría (anchos y modulaciones).

En el apartado 5.1 se describen las operaciones previas a llevar a cabo antes de la aplicación, así como las eventuales limitaciones por razones climatológicas y en el apartado 5.2.3 se indican los controles a llevar a cabo durante la aplicación sobre las dosificaciones y la homogeneidad.

Supuesto que se han acopiado los materiales y la maquinaria especificados y que se ha preparado la superficie conforme a las necesidades, este anexo pretende proporcionar una guía rápida para llevar a cabo un control más eficaz sobre el proceso de aplicación.

B.1. CONTROL DE LAS DOSIFICACIONES Y DE LA HOMOGENEIDAD LONGITUDINAL

Para controlar las dosificaciones debe bastar con controlar los caudales suministrados por los dispositivos de aplicación de las máquinas y la velocidad. Basta con tener en cuenta que a una velocidad de 5,0 km/h alrededor de la cual trabajan habitualmente las máquinas realizando una línea de 20 cm con termoplástico, una imperceptible variación en la velocidad de 0,2 km/h produce una variación en la dosificación del 4%. Una más que posible variación de ±1 km/h produce una variación de ±20%.

El control de las dosificaciones siguiendo el procedimiento de control basado en la obtención de chapas al paso de la máquina durante la aplicación, como figura en muchos pliegos, aporta muy poca fiabilidad y además es caro. Los errores producidos por variaciones (voluntarias o involuntarias) en la velocidad así como los derivados de la separación de los dos materiales y la transformación en material líquido no hacen sino introducir nuevos errores que generalmente solo aportan confusión al proceso.

B.1.1. Control automático: El PG3 actualmente vigente, en su apartado 700.5 exige emplear maquinaria con control automático de dosificación (según UNE 135277-1) para aplicación de pinturas y plásticos en frío. Las máquinas volumétricas (por ejemplo las airless) son las que disponen de dispositivos de control de dosificación más eficaces; sin embargo, para los termoplásticos no existen, todavía, sistemas suficientemente precisos para ser consideradas como de control automático de la dosificación.

B.1.2. Control manual: Cuando no exista maquinaria con control automático se puede establecer un protocolo de autorización de comienzo de obra aplicando los criterios que se indican en el apartado 8 de la norma UNE 135277(2) «Determinación de las condiciones de trabajo. Ajuste en obra».

El procedimiento a seguir es que el operario ajuste la máquina para que la línea salga homogénea. En esas condiciones se mide por pesada el caudal que suministran los dispositivos de aplicación, ajustando los sólidos hasta equilibrar las proporciones.

Conocidos los caudales y la dosificación que tiene que aplicar, una simple operación aritmética (o una tabla de conversión) nos determinará la velocidad de aplicación: Velocidad (km/h) = Caudal(kg/h)/1000*Dosificación (kg/m²)*ancho(m).

Se levanta un acta que refleje las condiciones de presiones y velocidad (con una apreciación de 0,1 km/h) que debe mantener el equipo durante los trabajos. El mantenimiento de las condiciones de trabajo y, en particular, la velocidad garantiza la homogeneidad longitudinal.

B.1.3. Registros: Tanto en el caso del control automático como del control manual se debe registrar las condiciones de trabajo que garanticen la trazabilidad de la aplicación.

B.1.3.1. Registro automático: La máquina debería ir provista de un sistema de registro electrónico con los valores de las condiciones de trabajo especificadas en el acta o en el control automático, asi como los datos de trazabilidad enumerados en el capítulo 7 de esta guía.

B.1.3.2. Registro manual: En caso de no existir un sistema electrónico de registro la misma información debe ir recogida en un parte diario de trabajo. Un ejemplo se proporciona en la tabla B.1. El vigilante deberá cuidar de que esas condiciones establecidas se mantengan con las tolerancias que asimismo se establezcan en el acta.

B.1.4. Comprobación de acopios y consumos: La comprobación de los materiales consumidos según los registros anteriores y los acopios, siempre que estén debidamente identificados por lotes y custodiados, permite llevar un doble control sobre la dosificación.

B.2. HOMOGENEIDAD TRANSVERSAL

La homogeneidad transversal se comprueba aplicando lo especificado en el apartado 5.2.3.2. de esta guía.

B.3. CUMPLIMIENTO DE LAS LIMITACIONES A LA EJECUCIÓN

Las limitaciones a la ejecución provienen de la existencia de bajas temperaturas, fuerte viento, o que la superficie esté por debajo del punto de rocío (con riesgo de presencia de condensación en la superficie a pintar). Por esta razón los equipos deben estar provistos de termómetro de temperatura ambiente, higrómetro, termómetro de contacto (o IR) y de una tabla de obtención de punto de rocío como la que figura en la tabla 5.1.1 de esta guía.

TABLA B.1. **EJEMPLO DE PARTE DIARIO DE TRABAJO**

PARTE DIARIO DE TRABAJO	MÁQUINA:	FECHA

IDENTIFICACIÓN DE LAS MARCAS VIALES Y MATERIALES								
DETALLES DEL TRABAJO (TIPO DE MARCA VIAL ETC.)								
LOTE DE OBRA	LOTE Nº PINTURA	REF.	KG	LOTE Nº ESFERAS	REF.	KG	LONG. Ó M²	LOCALIZACIÓN CRTRA. BAN. PK A PK
1								
2								
3								
4								
5								
6								

DOSIFICACIONES						DATOS DE APLICACIÓN					
LOTE DE OBRA	M2	KG PINTURA	KG ESFERAS	DOSIFICACIONES G/M²		Tª SUBS ºC	PUNTO ROCÍO ºC	CONDICIONES DE APLICACIÓN			
				PINTURA	ESFERAS			P. TANQUE	P. ATOM.	VELO.	Tª
1											
2											
3											
4											
5											
6											

OBSERVACIONES E INSPECCIÓN VISUAL:

MATERIALES	APLICACIÓN
Aspecto de la pintura (pieles, sedimento...) Aspecto de las esferas (humedad, grumos...)	Geometría : Distribución pintura : Distribución esferas : Hundimiento % : Apreciación visibilidad día : Apreciación visibilidad noche :

Firmas:

Identificación del encargado **Identificación del responsable de calidad**