

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE,
Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO**

VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO VIAL**

**ASPECTOS GENERALES SOBRE LA SEÑALIZACIÓN
HORIZONTAL DE CARRETERAS**

**Elaborado por: Boris Eduardo Carías Juárez, Ing. Civil.
Unidad Técnica. Gerencia de Investigación y Desarrollo**

**Edwin Ricardo Alvarenga, Ing. Civil.
Gerente de Investigación y Desarrollo.**

**Coordinador: Daniel Antonio Hernández Flores, Ing. Civil.
Director.**

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, MARZO DE 2009

OBSERVACIÓN

El contenido de este informe refleja las opiniones de los autores, quienes son responsables de los hechos y la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales del Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador. Este informe no constituye una norma, especificación o regulación.

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL DE CARRETERAS.

RESUMEN.

El presente documento aborda aspectos generales sobre la señalización horizontal en carreteras y la importancia que ésta tiene en la seguridad y confort de los usuarios de las vías. También se presenta información técnica sobre los procesos constructivos implementados para la colocación de la señalización horizontal y los factores que inciden en la degradación que sufre la misma, por efecto del tráfico vehicular y las condiciones medioambientales; además se presentan generalidades sobre los problemas frecuentes en la colocación de la señalización horizontal y un análisis costo – beneficio sobre las pinturas utilizadas para la demarcación de carreteras en nuestro país.

1.0 INTRODUCCIÓN.

El presente documento contiene información general sobre la señalización horizontal en carreteras, la cual constituye uno de los componentes importantes para brindar los adecuados niveles de seguridad a los usuarios de las vías; también se presenta información relacionada con las características de los materiales, los procesos constructivos implementados y los factores que inciden en su desempeño. Además, se presenta un análisis comparativo (costo – beneficio) sobre las pinturas utilizadas en la demarcación horizontal de carreteras en nuestro país.

A continuación se detalla de manera breve el contenido de cada uno de los capítulos que constituyen el presente documento técnico. El capítulo 1 nos presenta una introducción al documento y explica de manera breve el contenido del mismo; el capítulo 2 contiene un marco teórico sobre el fenómeno de la retroreflectividad y generalidades sobre las demarcaciones horizontales de carreteras y el capítulo 3 se enfoca en los tipos de señalización existente, con énfasis en los tipos de pintura utilizada en nuestro país; se abordan aspectos relacionados con procesos constructivos; daños frecuentes sufridos por las pinturas y un análisis costo – beneficio sobre las mismas.

2.0 RETROREFLECTIVIDAD EN LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL DE CARRETERAS.

Las carreteras constituyen una parte importante de la infraestructura necesaria para la conectividad de un país, en lo relacionado al transporte de personas así como en el intercambio comercial, por lo que debe poseer las características apropiadas para su adecuado desempeño ante las solicitaciones de carga y climáticas a las cuales estará sometida, pero también debe brindar los niveles de servicio necesarios al usuario, en términos de confort y de seguridad. Al respecto, uno de los componentes importantes de dicha infraestructura, en lo relacionado con la seguridad, lo constituye la señalización vial, entendiéndose ésta como el conjunto de elementos y objetos visuales de contenido informativo, indicativo, restrictivo, preventivo y/o prohibitivo, empleado para informar al usuario sobre el entorno y de las condiciones en que la vía se encuentra.

La señalización vial está constituida principalmente por la señalización horizontal (longitudinales, transversales y marcas especiales), señalización vertical y señalización luminosa (semáforos, luces preventivas de paso de ferrocarriles, entre otros), las cuales pueden ser de carácter transitorio o permanente. El presente documento tiene como objetivo abordar aspectos relacionados con la señalización horizontal permanente.

La señalización horizontal está constituida por marcas longitudinales (continuas o discontinuas); marcas transversales; letras o símbolos; así como marcas especiales compuestas por vialitas y vibradores. La señalización vial debe ser visible durante el día y principalmente durante la noche, sobretodo en los sectores donde existe limitada o inexistente iluminación. La falta de una eficiente visibilidad de la señalización, ocasiona que el conductor realice un esfuerzo mayor en la visualización, una inadecuada decodificación del mensaje y/o la no identificación del mismo, lo cual puede ocasionar una operación inadecuada que incida en la ocurrencia de accidentes.

La capacidad de la señalización vial para ser visualizada por los conductores de vehículos, principalmente en horas nocturnas, depende de los siguientes aspectos:

- La cantidad de luz procedente de los faroles en los vehículos y la ubicación de los mismos.
- La cantidad de luz que incide en la señalización vial.
- Las características visuales del observador.
- La geometría de la vía.
- La geometría y la disposición de la señalización vial.
- Las condiciones climatológicas.
- **Las propiedades de retroreflectividad de la señalización vial.**
- **Las características de los materiales y procesos de colocación de la señalización vial.**

A continuación se abordarán algunos conceptos sobre los dos últimos componentes indicados anteriormente; específicamente en lo relacionado con el fenómeno de retroreflectividad y los factores que se considera que son más incidentes en la ocurrencia de dicho fenómeno; así como también sobre las características de los materiales y el proceso de colocación de la señalización vial.

2.1 Retroreflectividad. Aspectos generales.

Previo a la explicación del fenómeno de retroreflectividad en las señales viales, se considera necesario discutir sobre algunas características ópticas, que permitan aclarar la generación de dicho fenómeno; así como también sobre algunos factores que inciden en los niveles de retroreflectividad.

En general, debemos tomar en consideración que una fuente de luz emite cierta cantidad de energía en forma de luz visible en todas las direcciones, para el caso, si encerramos esa fuente de luz en una esfera, todas las paredes se verían iluminadas por los rayos de luz¹. Sin embargo, al direccionar la luz hacia un punto específico de la pared de la esfera, a través de un cono de luz, (como ocurre al utilizar una lámpara de mano), se genera un **flujo de luz**, por lo que solamente

¹ Modificado de Roadway Delineation Practice Handbook, de la FHWA.

una parte de la pared será iluminada. La intensidad luminosa, procedente de una fuente de luz a una dirección específica, es medida en términos de **candelas (cd)** y el flujo luminoso, correspondiente a la suma de intensidad luminosa de una fuente en todas las direcciones, se mide en términos de **lumen (lm)**.

Cuando observamos una superficie reflectiva, lo que visualizamos en ésta es una imagen en el espacio que se ha reflejado en dicha superficie, la cual puede presentar el mismo nivel de brillo como un espejo o podrá verse reducido. De manera particular, cuando un flujo de luz impacta en una superficie áspera o irregular, el flujo de luz es reflejado con ángulos diferentes respecto al flujo incidente, por lo que no se conserva la imagen, observándose borrosa, generándose una **reflexión difusa** (ver figura 1a). En los casos donde la superficie reflejante es lisa, el ángulo de reflexión del flujo de luz suele ser el mismo o semejante al flujo de luz incidente y la imagen suele ser clara; dicha superficie presenta un tipo de reflexión conocido como **reflexión especular o de espejo** (ver figura 1b). Es importante considerar que la mayoría de las superficies poseen una combinación de efectos de reflexión (reflexión difusa y reflexión especular, ver figura 1c).

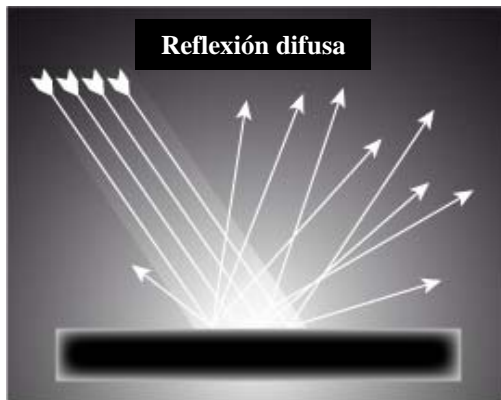


Figura 1a. Reflexión Difusa

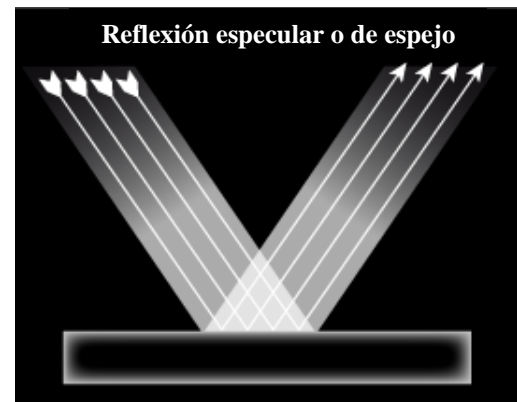


Figura 1b. Reflexión especular o de espejo

Figura 1c. Combinación de efectos de reflexión, Reflexión Difusa y Reflexión especular
[Figuras 1a, 1b y 1c modificadas del documento Reflexión, www.gusgsm.com]

Además, existe un tipo de reflexión, que es de enorme importancia en el desempeño de la señalización vial, objeto del presente documento, denominado **Retroreflexión**, el cual ocurre

cuando un haz de luz impacta en una superficie y éste retorna en la misma dirección en la que fue generado. Al respecto, la existencia de una retroreflexión perfecta, puede ser un problema para la señalización horizontal de carreteras, ya que el flujo de luz procedente de los faros de un vehículo regresaría directamente a la fuente que lo generó y no a los ojos del conductor como es deseado; favorablemente la retroreflexión que ocurre en la señalización horizontal no es perfecta, por lo que la mayor cantidad de luz es retroreflejada en un cono de luz, el cual es suficientemente amplio como para ser percibida por el conductor (ver figura 2), con aproximadamente la misma intensidad de la fuente que la creó.

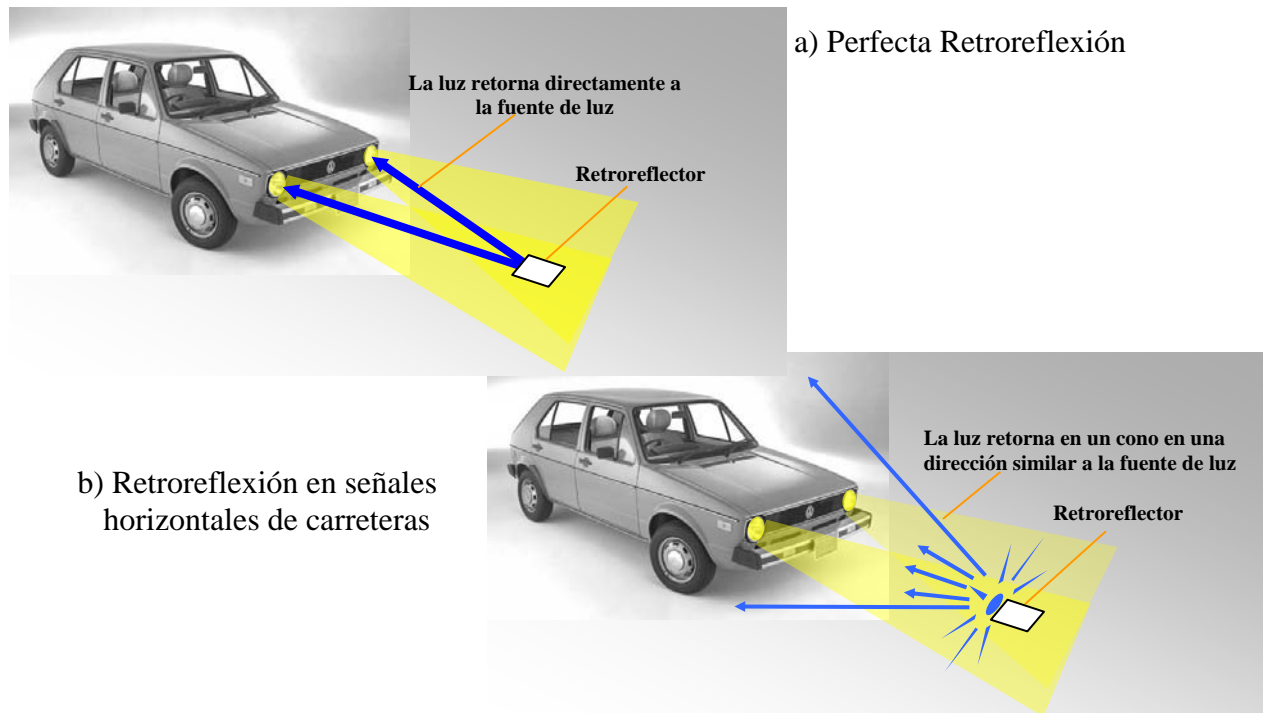


Figura 2. Esquema sobre el fenómeno de retroreflexión perfecta y la retroreflexión en señales viales.
[Esquemización realizada por Javier Fernando Rivera Palencia, Tec. Ing. Civil, UIDV-VMOP]

Con base en lo indicado en el documento *Roadway Delineation Practice Handbook* de la FHWA, la medida física de los niveles de reflexión de un flujo de luz es a través del parámetro denominado **Luminancia (L)**, el cual es la intensidad luminosa de la luz que incide en los ojos de los conductores de los vehículos en proporción al área de la superficie; la intensidad luminosa es medida en unidades de candela (cd), por lo que las unidades de luminancia corresponden a candelas por unidad de área (cd/m^2). La **Illuminancia (E)** es el flujo luminoso recibido en un plano por unidad de área en un plano específico, las unidades típicas utilizadas son lux (lm/m^2).

La retroreflexión en la señalización horizontal de estructuras viales, ocurre gracias a la presencia de esferas de vidrio en la pintura, que crean una superficie adecuada para la ocurrencia de este fenómeno óptico. Cabe indicar que también existen dispositivos prismáticos, colocados generalmente en conjunto con la señalización horizontal, denominados vialetas, también conocidos como “ojos de gato”, mediante los cuales también se logra generar el fenómeno de retroreflexión. Las esferas de vidrio aplicadas a la señalización horizontal se comportan como

minúsculas lentes que concentran los rayos de luz que inciden en la superficie; los rayos de luz se concentran en una de las superficies de las esferas de vidrio, tras la superficie de las esferas se encuentra el pigmento integrado en la señalización horizontal que causa un efecto de espejo, generando de nuevo la refracción del rayo de luz hacia la pared de las esferas (ver figura 3).

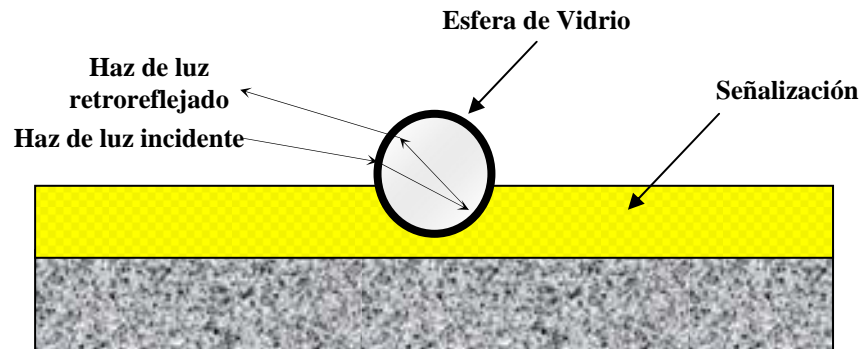


Figura 3. Esquema ampliado de sección transversal de señalización para efectos de representación del fenómeno de la retroreflectividad.

[Esquematación realizada por Boris Eduardo Carías Juárez, Ing. Civil UIDV-VMOP]

2.1.1 Esferas de vidrio.

Las esferas de vidrio son denominadas por algunos organismos como microesferas cuando su diámetro es menor a 1 mm y esferas cuando su diámetro es igual o superior a 1 mm² (cabe indicar que a lo largo del presente documento, se les denominará esferas de vidrio independientemente de su diámetro). Según lo establecido en el documento *Pavement Marking Course, Virginia Department of Transportation 2007*, la producción de las esferas de vidrio se realiza a través de un tratamiento especial a alta temperatura en vidrios seleccionados; para lo cual existen dos métodos de fabricación, el primero es conocido como **Método Directo**, en el cual el vidrio es fundido a través de métodos de rociado y atomizado, formando esferas en forma de gotas. Cuando las esferas son forzadas a salir del tanque donde se ha realizado el fundido, éstas son depositadas en contenedores que las enfrían para su posterior clasificación granulométrica.

El segundo método, el cual es el más utilizado para la fabricación de esferas de vidrio para la señalización vial, es conocido como **Método Indirecto**. En este método el material seleccionado (nuevo o reciclado) es pulverizado hasta formar polvo de vidrio, este polvo es calentado en un horno a través de tres (3) tipos de llamas a diferentes temperaturas, hasta provocar que se ablande tomando la forma de esferas. Las esferas son enfriadas a la salida del horno para su posterior clasificación granulométrica, con base en los límites requeridos.

Algunas esferas de vidrio vienen contenidas (premezcladas) en la pintura que será utilizada en la señalización horizontal, comúnmente se conocen como esferas **Pre-mix**; cabe indicar que las esferas que son colocadas inmediatamente después de la colocación de la señalización horizontal en el pavimento, son denominadas esferas **Drop-on**; este último tipo de esferas de vidrio posee una granulometría mayor que las esferas premezcladas. Cabe señalar que puede utilizarse una

² Señalización Horizontal (Helio Moreira y Roberto Menegon)

combinación de ambos tipos de esferas de vidrio, las Drop-on proveen retroreflectividad inmediatamente después de la colocación de la pintura y las Pre-mix tienen como objetivo generar el fenómeno de la retroreflectividad cuando las esferas Drop-on han sido erodadas de la superficie de la señalización horizontal, por efecto del tráfico y el clima.

Para lograr niveles adecuados de retroreflectividad en la señalización horizontal, es necesario que las esferas de vidrio cumplan con ciertas características específicas, fundamentales en la obtención de este objetivo. Las principales características que deben poseer las esferas de vidrio se detallan a continuación.

a) Tamaño de las esferas.

Las esferas de vidrio presentan una amplia gama de tamaños (ver figura 4), generándose el aumento de los niveles de retroreflectividad a medida el tamaño de las esferas incrementa. El tamaño de las esferas de vidrio tiene una importante incidencia en la retroreflectividad, especialmente bajo condiciones de lluvia, en las cuales una película de agua con espesor tal que cubre las esferas de vidrio, provoca cambios negativos en los efectos ópticos, ocasionando que se minimice o elimine las propiedades de retroreflectividad de las mismas, por lo que la presencia de esferas de vidrio de tamaños mayores, mejoran la retroreflectividad de la señalización horizontal, ante este tipo de condiciones.








	Malla	Milímetros	Pulgadas		Malla	Milímetros	Pulgadas
	80	0.18	0.0070		16	1.18	0.0469
	50	0.30	0.0117		14	1.40	0.0555
	30	0.60	0.0234		12	1.70	0.0661
	20	0.85	0.0334				

Figura 4. Tamaños comparativos esquemáticos (sin escala) de esferas de vidrio utilizadas en la señalización horizontal.

[Modificado de Pavement Marking Course 2007 de Virginia Department of Transportation, pág. 2-9]
[Esquematización realizada por Javier Fernando Rivera Palencia, Tec. Ing. Civil UIDV-VMOP]

Cabe indicar que cuando se elige el tamaño o granulometría de las esferas a utilizar en las demarcaciones horizontales, también debe tomarse en cuenta el espesor que tendrá la pintura en estado seco.

b) Índice de refracción (IR).

En general, el índice de refracción mide que tan rápido se propaga la luz en un medio. El valor de IR está en función de la cubierta química que envuelve a las esferas; mientras más alto es el valor de IR, mayor será la cantidad de luz que se retroreflejará. Las esferas utilizadas en la señalización horizontal de carreteras comúnmente poseen un IR de 1.50; en casos particulares, como por ejemplo en la señalización horizontal de aeropuertos, las esferas de vidrio poseen valores de índices de refracción de 1.90, este tipo de esferas dirige de mejor manera la luz dentro del campo de visión del piloto, además genera que la señalización sea más brillante, incrementando la distancia de visión de las mismas; sin embargo, también genera una reducción en el cono de luz retroreflejado, respecto al cono generado al utilizar esferas de vidrio con IR menores³. Cabe señalar que las esferas que presentan un mayor IR, generalmente poseen un costo mayor y son menos durables, ya que presentan una mayor rigidez que ocasiona que se vuelvan quebradizas, por lo que su uso es limitado o en su defecto algunas agencias de carreteras realizan una mezcla entre esferas de alto y bajo nivel de índice de refracción.

c) Redondez.

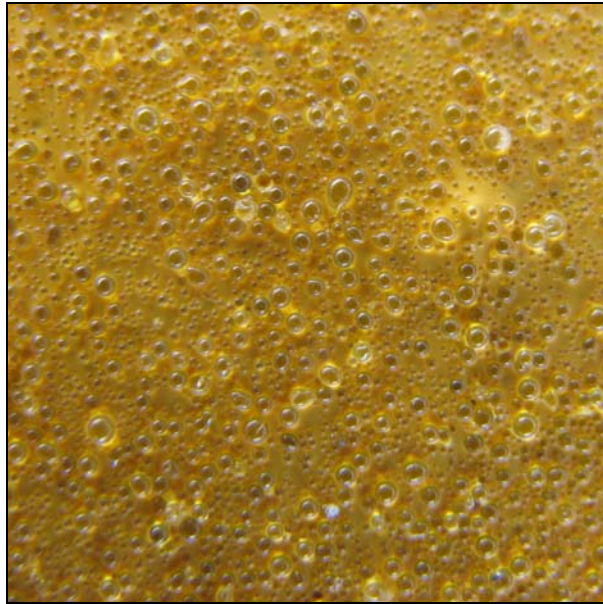
Para que el fenómeno de retroreflectividad pueda ocurrir, es necesario que la luz se refleje hacia la fuente, por lo cual es necesario que las esferas de vidrio posean una redondez casi perfecta. Las superficies redondas de las esferas, causan que los rayos de luz cambien su alineamiento dentro de las mismas a un punto inferior de éstas, ubicado en la zona en que se encuentran embebidas en las marcas de señalización; dicha zona actúa como espejo reflejando la luz en la misma dirección, pero en sentido contrario al del rayo de luz incidente (ver figura 3). La redondez de las esferas es influenciada por las propiedades del horno de fundición del vidrio; cabe indicar que las esferas que no son completamente redondas poseen menor capacidad de retroreflejar la luz.

d) Flotabilidad de las esferas.

El adecuado desempeño de las esferas de vidrio, está relacionado con la profundidad a la que éstas se han incrustado en la señalización vial, si la esfera se encuentra totalmente embebida no se generará el fenómeno de retroreflexión y si estas se encuentran muy expuestas, el flujo de luz se reflejará en diferentes ángulos reduciendo los niveles de retroreflectividad requeridos; la profundidad óptima a la que debe incrustarse las esferas oscila entre 50-60 % de su diámetro⁴ (ver fotografía 1).

³ Modificado de Airfield Marking Handbook, Innovative Pavement Research Foundation, 2002.

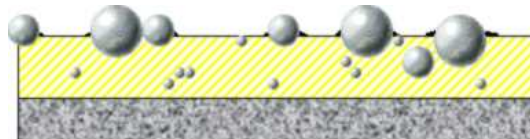
⁴ Modificado de Roadway Delineation Practice Handbook, de la FHWA.



Fotografía 1. Esferas de vidrio embebidas de manera adecuada en la pintura termoplástica de la señalización vial. [Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Boulevard Diego de Holguín, tramo I]

Para mejorar los niveles de retroreflectividad que proveen las esferas de vidrio convencionales, se ha desarrollado un tipo de esferas que permiten la flotabilidad cuando son colocadas en las demarcaciones viales. La flotación de las esferas se logra mediante la aplicación de una sustancia química que permite que las esferas convencionales, grandes o pequeñas, floten cuando las pinturas se encuentran en estado húmedo (ver figura 5).

Esferas Estándar



Esferas Flotantes

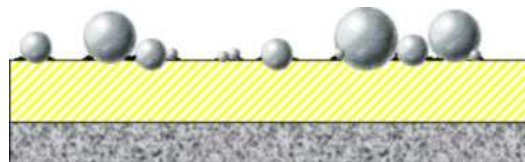


Figura 5. Esquema del comportamiento entre esferas estándar y esferas flotantes respecto al nivel de flotabilidad

[Esquematización realizada por Javier Fernando Rivera Palencia, Tec. Ing. Civil, UIDV-VMOP]

La principal ventaja asociada a la flotación de las esferas, es proveer consistentes niveles de brillo e incrementar los valores de retroreflectividad inicial. Lo anterior es logrado cuando la mitad superior de la esfera de vidrio queda expuesta sobre la superficie de la lámina de la señalización. En esferas convencionales, una alta cantidad de esferas queda sumergida dentro de la señalización, reduciendo así, los niveles iniciales de retroreflectividad.

Cabe indicar que si bien es cierto las esferas flotantes incrementan los niveles iniciales de retroreflectividad, la presencia de las mismas se ve disminuida con el paso del tiempo, ya que las esferas se desprenden con facilidad por el paso de los neumáticos de los vehículos, reduciendo por consiguiente los niveles de retroreflectividad y la vida útil de las demarcaciones⁵.

e) Resistencia a la trituración.

Debido a que las señales viales están expuestas al paso constante de los neumáticos de los vehículos, es necesario que las esferas de vidrio posean la resistencia necesaria para evitar la trituración por efecto de las cargas de tráfico.

f) Resistencia a la humedad.

Altos niveles de humedad afectan directamente a las esferas de vidrio cuando éstas son almacenadas, generando la formación de grumos, lo que incide negativamente en la uniformidad durante la colocación de las mismas, principalmente por el método de rociado, provocando bajos niveles de retroreflectividad.

En general, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), en la especificación M-247 *Glass beads used in traffic paints*, establece requerimientos mínimos que deben cumplir las esferas de vidrio, los cuales se presentan a continuación:

CARACTERÍSTICAS	NORMA DE ENSAYO	REQUISITOS
Índice de refracción	AASHTO M-247 <i>Glass beads used in traffic paints</i>	1.5 como mínimo
Redondez	ASTM D-1155 <i>Test Method for roundness of glass spheres</i>	70% como mínimo de una esfera real
Flotación	AASHTO M-247 <i>Glass beads used in traffic paints</i>	El 90% de las esferas deben flotar en Xileno
Resistencia a la trituración	ASTM D-1213 <i>Test method for crushing resistance of glass sphere</i>	133 N (30 lbs) como mínimo
Resistencia a la humedad	AASHTO M-247 <i>Glass beads used in traffic paints</i>	No debe de absorber humedad al almacenarse y no se deben formar grumos

Tabla No. 1. Requerimientos mínimos de las esferas de vidrio [AASHTO – 2002, M-247, pág. 2]

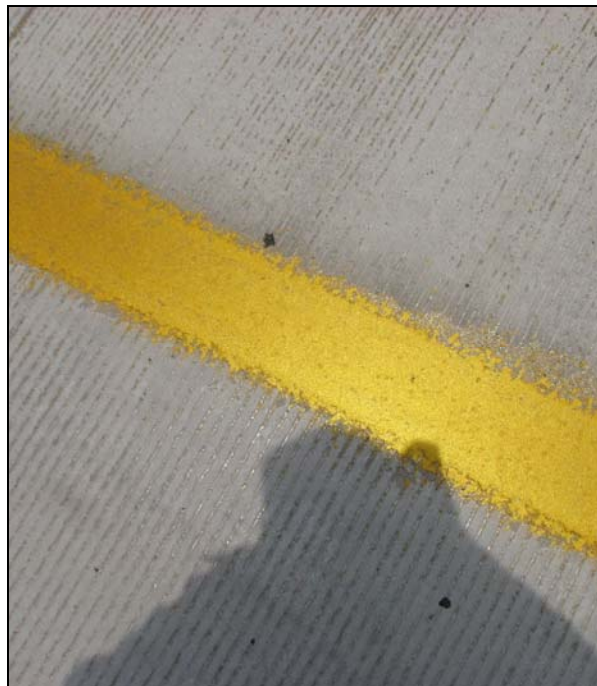
⁵ Modificado de Roadway Delineation Practice Handbook, de la FHWA.

2.1.2 Medición de la retroreflectividad.

La visibilidad de la señalización vial, está directamente relacionada con la cantidad de luz que incide en la señalización y que es reflejada hacia los ojos de los conductores de los vehículos, lo cual puede ser evaluado a través de la medición de la **retroreflectividad**.

La efectividad de la señalización vial, puede ser verificada cualitativamente mediante la evaluación de la apariencia de la señalización, implementando el método denominado “**sol sobre los hombros**”, en los cuales el evaluador observa la reflexión de la luz solar en la señalización, cuando el sol se encuentra a sus espaldas; de manera general, se recomienda realizar dicha evaluación cuando el sol se localiza entre 20-80 grados sobre el horizonte⁶ (ver fotografía 2). Lo anterior, permite visualizar la distribución de las esferas y evaluar de forma relativa la reflectividad que generan las mismas. La verificación de la uniformidad, penetración y densidad de las esferas de vidrio presentes en las demarcaciones de pintura, puede realizarse mediante la utilización de lupas.

También la retroreflectividad puede ser evaluada cuantitativamente. En términos matemáticos, la retroreflectividad es la relación entre la luminancia reflectada respecto a la iluminancia de los faroles de los vehículos, bajo ciertas geometrías. Cabe señalar que estas geometrías están basadas en la distancia horizontal entre la fuente de luz (faroles del vehículo) al punto donde se ubica la marca de tráfico, la distancia vertical de la fuente de luz al pavimento, la distancia vertical desde el pavimento hasta el punto donde se ubican los ojos del conductor y los ángulos que se generan entre los flujos de luz incidente y de observación.



Fotografía 2. Evaluación de la retroreflectividad a través del método “sol sobre los hombros”
[Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Boulevard Diego de Holguín, tramo I]

⁶ Modificado de Pavement Marking Handbook, Texas Department of Transportation, Agosto 2004, pag. 3-16

Existen dos geometrías que se utilizan para la medición en la señalización horizontal, identificadas como geometría de medición de 15 m y 30 m; es importante indicar que **los valores de retroreflectividad, medidos con diferente geometría, no son comparables y no ha sido posible obtener una relación confiable entre ambos resultados**⁷. Cabe señalar que actualmente la geometría que más se utiliza corresponde a 30 m, los parámetros asociados a dicha geometría han sido obtenidos tomando como referencia un vehículo pequeño Europeo para pasajeros (Wolswagen Rabbit), el cual posee una altura de faros de 0.65 m y la altura promedio de visión del conductor es de 1.20 m. La geometría de 30 m simula la efectividad de una señal vial que está localizada a 30 m frente al vehículo que genera el flujo luminoso. En la figuras 6a y 6b se presenta de manera esquemática las características de cada geometría.

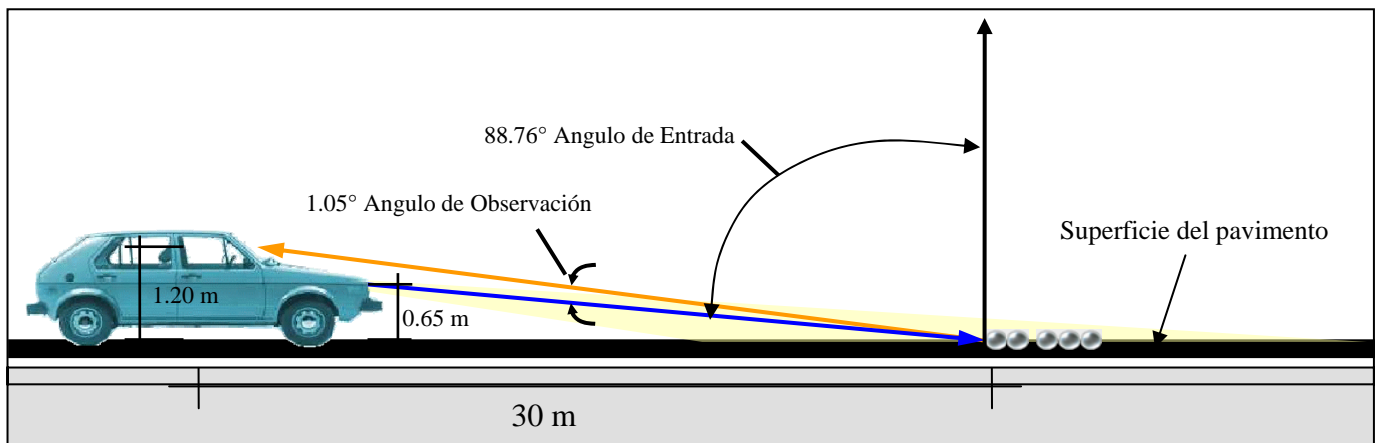


Figura 6a. Geometría de medición de 30 m.

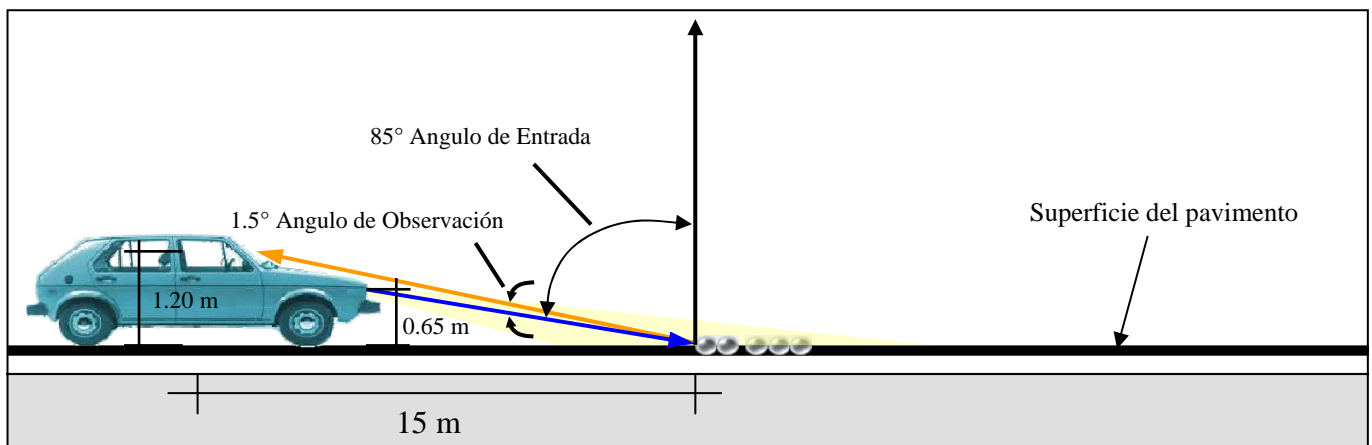


Figura 6b. Geometría de medición de 15 m.

[Esquemáticas realizadas por Javier Fernando Rivera Palencia, Tec. Ing. Civil, UIDV-VMOP]

⁷ Modificado de Señalización Horizontal de Helio Moreira y Roberto Menegón

A continuación se abordan aspectos sobre los parámetros indicados en las figuras 6a y 6b⁸.

- **Ángulo de observación:** Es el ángulo entre el rayo de luz provocado por la fuente luminosa y el rayo de luz retroreflejado por el material retroreflectivo que regresa a los ojos del conductor. Este parámetro es importante, ya que la cantidad de luz reflejada disminuye con un incremento en el ángulo de observación.
- **Ángulo de entrada:** Es el ángulo entre el eje normal al material retroreflectivo y la dirección de iluminación. Al incrementarse la altura de ubicación de los faroles del vehículo, el ángulo de entrada disminuye, ocasionando un incremento en la iluminación reflejada.
- **Altura de faroles:** Es la distancia entre la superficie del pavimento y los faroles del vehículo. En vista que los faroles son normalmente paralelos a la superficie, a mayor altura se logra una mayor distancia de iluminación de la señalización.
- **Altura de visión del conductor:** Es la distancia entre la superficie del pavimento y los ojos del conductor. Al incrementarse la altura de visión, se logra una mayor proyección de la señalización vial.

La medición de la retroreflectividad se realiza utilizando equipos denominados **Retroreflectómetros** (ver fotografía 3), los cuales presentan una geometría definida dependiendo del modelo y de las especificaciones del equipo. Existe equipo manejado manualmente y equipo móvil, este último equipo presenta la ventaja de permitir realizar las mediciones en proyectos viales de gran longitud en períodos cortos de tiempo, sin la necesidad de cerrar tramos de calle, las mediciones se realizan a velocidades similares a las velocidades de viaje sobre cada tipo de proyecto.

Para la medición de la retroreflexión bajo iluminación de los faroles de un vehículo, se emplea el **Coefficiente de Luminancia Retroreflejada R_L** . Con base en lo indicado en el artículo *Óptica de la Señalización*, dicho parámetro representa el brillo de una marca vial tal como es percibida por los conductores de vehículos bajo la iluminación de sus propios faroles, y se calcula como el cociente entre la luminancia L de la zona de marca vial en la dirección de observación y la iluminancia E de esa zona, medida perpendicularmente a la dirección del flujo incidente. Este coeficiente se expresa en unidades de milicandelas por metro cuadrado por lux ($mcd/m^2/lux$).

Para la medición de la reflexión bajo iluminación diurna o alumbrado público, se emplea el **Coefficiente de Luminancia Bajo Iluminación Difusa Q_d** , que representa el brillo de una marca vial tal como es percibida por los conductores de los vehículos, en las condiciones de iluminación diurna o alumbrado público. El coeficiente Q_d está definido por el cociente entre la luminancia de la señalización horizontal en una dirección dada y la iluminancia de esa zona; se expresa en unidades de milicandelas por metro cuadrado por lux ($mcd/m^2/lux$).

En relación con el procedimiento de medición, la American Standard Testing Material (ASTM), posee un método de ensayo para medir la retroreflectividad, la cual corresponde a la ASTM E 1710 *Standard test method for measurement of retroreflective pavement marking materials with*

⁸ Modificado de ASTM E 1710 *Standard test method for measurement of retroreflective pavement marking materials with CEN- Prescribe geometry using a portable retroreflectometer*

CEN- Prescribe geometry using a portable retroreflector, la cual está basada en lo establecido por la *European Committee for Standardization CEN*.

También en la ASTM D 6359 *Standard specification for minimum reflectance of newly applied pavement marking using portable hand-operated instrument*, se especifica entre otros aspectos las características del aparato retroreflector a utilizar para las mediciones (geometría), la cantidad y ubicación de ensayos, sentidos de medición, valores de Coeficiente de Luminancia Retroreflejada R_L , recomendados para la señalización horizontal; así como los criterios de aceptabilidad o rechazo de la señalización. Al respecto, los valores mínimos de retroreflectividad establecidas en ASTM D 6359, son de $250 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ para la señalización de color blanco y de $175 \text{ mcd/m}^2/\text{lux}$ para la señalización de color amarillo. Cabe indicar que dichas especificaciones no establecen valores de referencia para el Coeficiente de Luminancia bajo iluminación difusa Q_d .



Fotografía 3. Ejecución de ensayos para la medición de la retroreflectividad utilizando un Retroreflectómetro Zehntner ZRM 1013 R_L/Q_d propiedad de la UIDV-VMOP.
[Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, By Pass de la ciudad de Usulután]

La Federal Highway Administration (FHWA) establece, en el documento *Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs*, valores mínimos de retroreflectividad por debajo de los cuales el ojo humano ya no es capaz de percibir correctamente la información proporcionada por la señalización horizontal, según la velocidad de los automóviles, por lo que al alcanzar dichos niveles es necesario implementar una intervención para restaurar los valores de retroreflectividad recomendados. A continuación se presenta una tabla conteniendo estos valores.

Color de la señalización	Valor mínimo de R_L (mcd/m ² /lux) dependiendo de las velocidades límites permisibles en carretera.		
	Menor o igual a 50 km/h	50-80 km/h	Mayor o igual a 80 km/h
Blanco	La señalización presenta algún nivel de retroreflectividad	80	100
Amarillo	La señalización presenta algún nivel de retroreflectividad	65	80

Tabla No. 2. Valores de R_L mínimos según velocidad de los automóviles.

[Modificado de Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs de la FHWA]

Cabe indicar que también en las especificaciones ASTM E 2176 *Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (R_L) of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting* y ASTM E 2177 *Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (R_L) of Pavement Markings in a Standard Condition of Wetness*, se establecen procedimientos para realizar mediciones de retroreflectividad en la señalización horizontal; sin embargo, éstas son realizadas bajo condiciones húmedas (ante la presencia de lluvia constante y bajo condiciones de alta humedad en el pavimento, respectivamente).

Un aspecto importante que debe tomarse en consideración, es que los valores de retroreflectividad en la señalización horizontal sufren un proceso de degradación continua por efecto de factores externos, tal como el desgaste producido por los neumáticos de los vehículos, factores medioambientales y otros. Al respecto, en la sección 2.3 se abordará dicho fenómeno con mayor detalle.

2.2 Fenómeno del Contraste.

La sensación de la visualización de la señalización vial por un conductor, no será la misma en todas las superficies del pavimento, aún y cuando la señalización posea la misma geometría, color y el mismo valor de retroreflectividad. Lo anterior está relacionado con la ocurrencia de otro fenómeno, denominado **Contraste (C)**, el cual se define como la diferencia relativa de intensidad entre un punto de una imagen y sus alrededores; un alto nivel de contraste en la señalización horizontal, favorece la visibilidad de la misma. A continuación se presentan aspectos relacionados con esta importante característica de la señalización horizontal⁹.

El contraste en la señalización horizontal es la relación entre la luminancia de las marcas viales y la luminancia de su alrededor, medida desde la posición del conductor; cuanto mayor es el contraste mayor es la visualización de la señalización horizontal. Al respecto, la Federal Highway Administration (FHWA), en el documento titulado “*Updates to Research to the Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs*”, indica entre otros aspectos, que las superficies de pavimento de concreto asfáltico que han estado en servicio y presentan una superficie de rodadura oxidada, o capas de concreto hidráulico recién construidas, presentan un menor contraste, lo que disminuye la visibilidad de la señalización vial. Por lo anterior, algunas agencias de carreteras han recomendado, bajo tales condiciones, el uso de

⁹ Modificado de Updates to Research to the Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs del a FHWA

pinturas de color negro, en los bordes de la señalización vial (amarilla o blanca) para incrementar los niveles de contraste (ver fotografía No. 4).

Además, en dicho documento se indica que la medición del contraste correspondiente a horas nocturnas, se realiza mediante la determinación de los valores del coeficiente de luminancia retroreflejada en la señalización horizontal (L_t) en un punto específico y el correspondiente valor en la superficie del pavimento contiguo a la medición realizada en la señalización vial (L_b).

$$C_n = (L_t - L_b) / L_b$$

El contraste correspondiente a horas diurnas, es medido mediante la determinación de los valores del coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa (Q_t), de la marca de pavimento con el correspondiente valor en la superficie de pavimento contiguo a la medición previamente realizada sobre la marca de pintura (Q_b).

$$C_d = (Q_t - Q_b) / Q_b$$



Fotografía 4. Incremento del fenómeno del Contraste mediante la aplicación de pintura de color negro en los bordes de la señalización [Tomado de Evaluation of wet-weather and contrast de la FHWA, pág 67]

Durante el día, la visibilidad de las demarcaciones depende solamente del contraste entre la demarcación y las zonas del pavimento contiguas a las mismas; durante la noche la visibilidad de

la demarcación depende únicamente del flujo de luz de los faroles del vehículo y la capacidad de la demarcación de retroreflejar esa luz¹⁰.

La apariencia de las marcas en el pavimento en horas nocturnas es un factor crítico para la adecuada circulación sobre las carreteras. Existen dos componentes principales en la apariencia de éstas en horas nocturnas, **el color y la brillantez** observada en las marcas en períodos o zonas con poca iluminación. A continuación se detalla cada una de estas¹¹.

- **Color:** Depende directamente de los pigmentos utilizados para la fabricación de las pinturas. En las pinturas de color blanco, se utiliza frecuentemente el Dióxido de Titanio, mientras que en las pinturas de color amarillo, se utiliza frecuentemente el Cromato de Plomo. En horas nocturnas, el tipo de pigmento utilizado genera que las marcas en el pavimento puedan aparecer significativamente diferentes al color observado durante el día. Especialmente, las marcas de color amarillo las cuales son susceptibles a tener una diferente apariencia del color en la noche. **El efecto de los pigmentos en la señalización horizontal genera además, que los valores de retroreflectividad obtenidos en las pinturas de color amarillo sean menores a los que se obtienen en las pinturas de color blanco.**
- **Brillantez:** Las características de las esferas de vidrio son la principal fuente de brillo en horas nocturnas en la señalización horizontal. Existen otras variables que influyen el brillo de las marcas de pavimento en horas nocturnas, algunas de las cuales son independientes de la marca de pavimento. Entre estas otras variables se encuentran: los faroles de los vehículos (dirección de la luz e intensidad), condiciones climáticas (lluvia, niebla, otros) y la capacidad visual del conductor.

2.3 Factores externos que afectan el desempeño de la señalización horizontal.

Los niveles de retroreflectividad inicial que puedan obtenerse en la señalización horizontal, están relacionados principalmente con la calidad de los materiales, el proceso constructivo implementado y los equipos utilizados, por lo que es necesario realizar un control de calidad adecuado para lograr los estándares de calidad requeridos. No obstante se obtengan adecuados valores de retroreflectividad inicial, la señalización vial se ve expuesta a ciertos factores que generan una reducción progresiva de dicho parámetro, relacionados principalmente con el medio ambiente y el tráfico vehicular. A continuación se presentan los aspectos más relevantes:

- a) Algunos materiales utilizados en la señalización vial son altamente sensibles al calor. Si los materiales son muy sensibles a las altas temperaturas y además, la superficie sobre la que se coloca es oscura (por ejemplo superficies de pavimento asfáltico) las cuales absorben más el calor, se genera el ablandamiento de las marcas de pintura, la cual viene acompañada de deformaciones en la misma. Lo anterior se incrementa cuando la vía está expuesta a un alto tráfico vehicular. Lo anterior provocará, adicionalmente, una disminución en los niveles de retroreflectividad.

¹⁰ Modificado de Evaluation of wet-weather and contrast de la FHWA.

¹¹ Modificado de Evaluation of wet-weather and contrast de la FHWA.

- b) Las características del tráfico vehicular y/o el paso de vehículos pesados, inciden en la vida útil de la señalización horizontal, de tal manera que altos niveles de tráfico reducen considerablemente su vida útil. Lo anterior se ve incrementado cuando el tipo de señalización horizontal implementado posee espesores bajos.

Por lo general, las demarcaciones que sufren el constante paso de los neumáticos de los vehículos, tal como las ubicadas en zona de curvas, intersecciones y separadores de carril, se ven mayormente afectadas por los efectos del desgaste. **El desgaste** es el deterioro progresivo de las demarcaciones viales horizontales, como consecuencia del paso o roce constante (tipo abrasivo) de los neumáticos de los vehículos, en el cual las capas superficiales de pintura se rompen o se desprenden de la superficie. En la fotografía No. 5, se evidencia el desgaste en la señalización vial en zona de curva, cabe señalar que los niveles de retroreflectividad en estas zonas son menores respecto a los valores de retroreflectividad en zonas de tangente.



Fotografía 5. Desgaste de la señalización en zona de curva debido al paso continuo de los neumáticos de los vehículos [Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Carretera Panamericana CA-01].

3.0 PINTURAS UTILIZADAS PARA LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL.

La demarcación horizontal de pavimentos, generalmente es realizada utilizando pinturas líquidas, las cuales están compuestas básicamente por pigmentos, fillers, aglutinantes, aditivos y esferas de vidrio. En general, los pigmentos proporcionan el color, los fillers proporcionan el cuerpo de la pintura, necesario para proporcionar durabilidad; el aglutinante mantiene unidas a todas las partes que la conforman; los aditivos mejoran las características físicas y químicas del producto y las esferas de vidrio son las encargadas de proveer las características de retroreflectividad en las mismas. Los tipos de pintura, que generalmente se utilizan para la señalización vial, son: pinturas epóxicas, pinturas termoplásticas, pinturas acrílicas base agua y pinturas de caucho clorado.

En los últimos años la mayoría de carreteras en el país construidas por el Ministerio de Obras Públicas, han sido señalizadas utilizando Pinturas Termoplásticas o Pinturas Acrílicas Base Agua. A continuación se presenta información relacionada con estos dos (2) tipos de pintura.

3.1 Pinturas Termoplásticas.

Los termoplásticos están compuestos por ingredientes sólidos que se vuelven líquidos cuando se incrementa su temperatura, luego son colocados sobre la superficie de un pavimento formando una unión térmica entre ellas. Existen dos tipos de pinturas termoplásticas, una de resina de base alquídica, las cuales están fabricadas de resinas provenientes de derivados de la madera y el otro tipo está constituido por resina de base de hidrocarbano, fabricadas de resinas provenientes de derivados del petróleo.

Las pinturas termoplásticas de base alquídica, poseen una mayor resistencia ante los efectos que puedan ocasionarle los productos derivados del petróleo, provenientes de los vehículos que transitan sobre la carretera, aunque son sensibles a los cambios bruscos de temperatura y requieren de mayores controles de calidad durante su aplicación. Generalmente se recomienda aplicarlas en zonas de pasos peatonales o en general, en zonas que se podrían ver afectadas por los fluidos derivados del petróleo provenientes de los vehículos que circulan sobre la vía. **Las pinturas termoplásticas de base de hidrocarbano**, permiten mayor facilidad de colocación debido a sus propiedades de aplicación, además ofrecen mayor estabilidad ante los cambios bruscos de temperatura; sin embargo, son susceptibles al entrar en contacto con materiales derivados del petróleo, por lo que se recomienda limitar su uso en la señalización longitudinal de la vía.

Las pinturas termoplásticas se fabrican en presentación granular y en forma de bloque sólido; por lo general, se preparan para la aplicación en un caldero de fusión, donde el material granulado o en bloque es introducido y calentado hasta que se vuelve líquido a temperaturas de aproximadamente 400° F (204° C). Un agitador mezcla los ingredientes hasta que el termoplástico es transferido a la cámara de extrusión o al mecanismo de rociado, con la cual se genera la forma de la señalización de acuerdo a especificaciones en ancho y espesor, inmediatamente se aplican esferas de vidrio con una granulometría mayor a las esferas premezcladas en la pintura (premix), con el objetivo de proveer retroreflectividad superficial e inmediata a las demarcaciones. Cabe indicar que algunas veces las pinturas termoplásticas son empacadas con materiales que pueden ser fundidos conjuntamente con el material termoplástico, sin afectar las propiedades de la pintura; sin embargo debe verificarse que el exterior de dichos empaques se encuentre libre de suciedad u otros contaminantes¹².

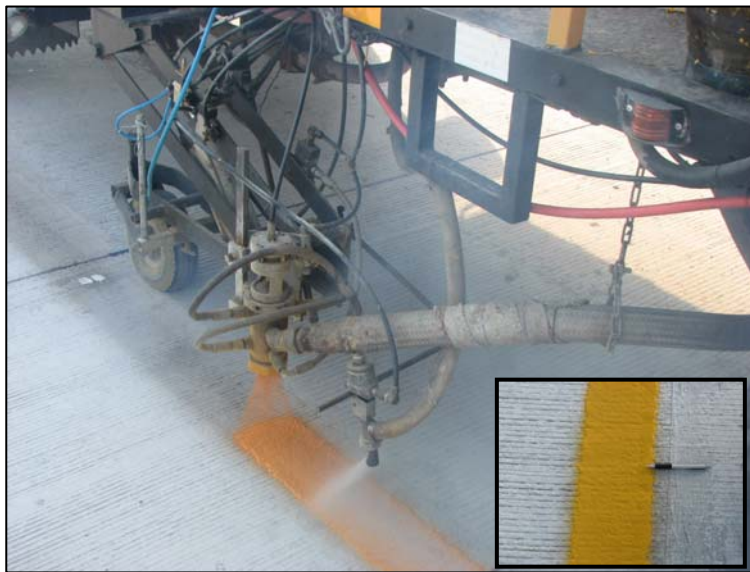
3.1.1 Métodos de colocación de la pintura termoplástica.

Existen tres métodos para la colocación de este tipo de pintura, a continuación se presentan los aspectos más relevantes de cada uno:

¹² Modificado de PAVEMENT MARKING HANDBOOK, Texas Department of Transportation, 1999.

- **Método de Rociado (Esprayado):** Este método involucra el uso de un dispositivo de aplicación por presión de aire que atomiza el termoplástico en estado líquido (ver fotografía No. 6). La relativa alta velocidad de aplicación del termoplástico brinda ventajas en la colocación sobre superficies ásperas. La mayor desventaja es que, velocidades de aplicación excesivamente altas, pueden ocasionar pérdidas de temperatura, lo que generará efectos adversos en la calidad de la señalización; además, las velocidades excesivas requieren de un mayor control de los espesores de la pintura que se está colocando.

El apareamiento de burbujas en la señalización horizontal, es un problema frecuente al colocar la pintura termoplástica sobre superficies de concreto hidráulico mediante el método de rociado, una solución empleada para evitar este tipo de problema es incrementar la presión de colocación de la pintura hasta que las burbujas desaparezcan.



Fotografía 6. Equipo para la aplicación de pintura termoplástica por el método de Rociado. En recuadro se observa el acabado de la superficie de la señalización.

[Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Boulevard Diego de Holguín, tramo I]

- **Método de Extrusión:** El termoplástico en estado líquido es colocado por gravedad a través de un contenedor capaz de colocar la pintura sobre el pavimento, el sistema posee una abertura lateral regulable, que proporciona el espesor y ancho definido en cada aplicación. Este método es típicamente usado para la señalización de leyendas, pasos peatonales, zonas de alto y otros.

La mayor ventaja de este método es que el material fluye uniformemente con el espesor deseado, logrando un mejor acabado de la superficie (ver fotografía No. 7) en comparación con el acabado logrado por el método de rociado, pero su velocidad de aplicación es menor. La mayor desventaja de este método, es que al aplicarlo sobre superficies de pavimento no uniformes, el termoplástico fluye hacia los laterales.



Fotografía 7. Equipo para la colocación de pintura termoplástica por el método de extrusión. En recuadro se observa el acabado de la superficie de la señalización
[Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Boulevard Santa Elena y By Pass Usulután]

En los dos métodos anteriores, las esferas de vidrio se adicionan a través de un sistema de rocío (esprayado) donde se controla automáticamente la tasa de aplicación, el ancho, y presión de aplicación de las mismas, entre otros.

Una técnica relativamente nueva y más eficiente utilizada para la colocación de las esferas de vidrio, se logra mediante la utilización de dos mecanismos de rociado por presión de aire para las esferas de vidrio (ver fotografía No. 8).

El adicionar un segundo mecanismo de rociado, representa una efectiva mejoría en términos de uniformidad de distribución de las esferas, de retroreflectividad inicial y en el desempeño de los sistemas de demarcación; a dicho proceso se le conoce como **método de doble aspersión**.



Fotografía 8. Equipo para la colocación de pintura, implementando el método de doble aspersión de esferas de vidrio [Tomado de www.pottersindustriesinc.com]

- **Método por gravedad:** Este método consiste en formar bordes laterales de la señalización horizontal a través de cinta adhesiva o utilizando moldes prefabricados; luego la pintura termoplástica en estado líquido se esparce (por gravedad) sobre el molde ubicado sobre el pavimento. Las esferas son añadidas a la pintura dejándolas caer manualmente, inmediato a la colocación del termoplástico. Este método presenta problemas de corrimiento cuando se utiliza en superficies que presentan pendientes altas. Además, debido a que no se tiene control en las tasas de aplicación de las esferas de vidrio, se genera una distribución no uniforme.

Es importante indicar que algunos fabricantes de pinturas termoplásticas elaboran productos que solamente pueden ser colocados sobre el pavimento por medio de uno de los métodos de colocación descritos anteriormente, por lo tanto es necesario tener en cuenta las recomendaciones del fabricante en lo que respecta a métodos de colocación de este tipo de pintura.¹³

3.1.2 Recomendaciones de aplicación de las pinturas termoplásticas.

A continuación se presentan algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta para la aplicación de este tipo de pintura. Cabe indicar que las siguientes consideraciones están principalmente enfocadas a demarcaciones horizontales nuevas¹⁴.

- **Limpieza:** El programa de trabajo debe incluir una etapa de limpieza de la superficie donde se ha planificado colocar la pintura, la cual debe quedar libre de partículas que puedan afectar la adherencia de las marcas. Cabe señalar que cuando la pintura vaya a ser colocada sobre pavimento de concreto hidráulico, es necesario eliminar de la superficie los residuos de la membrana de curado. Métodos manuales y/o mecánicos pueden ser utilizados para la limpieza de la superficie donde se colocará la pintura. En algunas ocasiones se debe lavar la superficie del pavimento; en esas circunstancias, previa colocación de la pintura, es necesario esperar que la superficie se encuentre totalmente seca y libre de agentes químicos utilizados en la limpieza de la misma.
- **Secado de la superficie:** Se deberán llevar a cabo procesos encaminados a determinar la humedad en el pavimento, no debiendo colocarse la señalización si existen índices de humedad y mucho menos en presencia de lluvia. La superficie se deberá mantener completamente libre de humedad. Un método utilizado para determinar la presencia de humedad sobre la superficie, consiste en colocar un cuadrado de plástico de aproximadamente 20 cm por lado, sobre la superficie del pavimento, fijándolo al mismo mediante cinta adhesiva; esperar por un lapso de 15 a 20 minutos, retirar el plástico y verificar si existe humedad en la cara del cuadrado de plástico en contacto con la superficie.
- **Colocación de Primer/sellador:** Cuando la señalización se coloque sobre superficies de concreto hidráulico o en los casos donde la superficie de pavimento asfáltico posea más de dos años, se encuentre envejecida o presente agregados expuestos, es necesario colocar previamente una base constituida de un Primer/sellador en todas las zonas donde se vaya a colocar pintura. Se deberán seguir las recomendaciones del fabricante en lo referente a tiempos de colocación del primer/sellador como de la pintura misma.

¹³ Modificado de Roadway Delineation Practice Handbook, de la FHWA.

¹⁴ Modificado de Guía para la Aplicación y Supervisión de Señalamiento Horizontal con Termoplástico, de SWARCO

- **Preparación del material:** A continuación se indican aspectos generales que deben tomarse en consideración, durante el proceso de calentamiento y/o mezclado de los materiales:
- **Tolvas:** Las tolvas utilizadas para calentar el material deben estar completamente libres de materiales utilizados previamente, principalmente al momento de colocar un termoplástico de un tipo y/o color distinto al colocado anteriormente.
- **Mezcla:** El material debe ser agitado frecuentemente. Cabe indicar que por lo general las pinturas termoplásticas en estado sólido, poseen incorporadas esferas de vidrio en su composición, mezcladas previamente por el fabricante de la pintura termoplástica.
- **Tiempo máximo de calentamiento:** El tiempo máximo de calentamiento no debe exceder el recomendado en las especificaciones del fabricante.
- **Tiempo máximo de exposición a su temperatura máxima permisible:** El termoplástico no debe ser mantenido a 400° F (204° C) por más de 6 horas consecutivas.
- **Temperatura máxima:** Generalmente los termoplásticos no deben ser llevados a temperaturas mayores de 450° F (230° C). Se debe tener el cuidado de nunca exceder esta temperatura o la establecida por el fabricante del producto.
- **Recalentamientos:** Las pinturas termoplásticas que inicialmente poseen forma granular, pueden ser recalentadas un máximo de tres veces; las pinturas que inicialmente poseen forma de bloque sólido pueden ser recalentadas un máximo de dos veces. Los cambios en el color original de los termoplásticos indican que éstos han sido sobre calentados más allá de lo permisible, por lo general las pinturas blancas adquieren colores beige o crema y las amarillas se tornan de color verde tenue o anaranjadas.
- Es importante indicar que existen fabricantes que permiten la fundición de la pintura termoplástica con el empaque o la bolsa utilizada para el transporte y almacenamiento de la misma.
- **Temperaturas de aplicación:** El cambio brusco de temperatura ambiente y de colocación puede afectar la aplicación. Se debe tener el cuidado de no colocar este tipo de material cuando se considere que las temperaturas en la zona de trabajo sean lo suficientemente bajas (menores a 4° C) como para afectar la colocación. Una medida que puede ser tomada cuando ocurre lo anterior, es compensar la temperatura de colocación.
- **Distribución de esferas:** La aplicación de esferas de vidrio debe realizarse de manera uniforme sobre todo el ancho y largo de la pintura termoplástica colocada previamente; se debe controlar periódicamente las tasas de aplicación y distribución. También se debe verificar periódicamente la temperatura de la pintura termoplástica así como los espesores de colocación de la misma, ya que pueden afectar directamente la profundidad de colocación de las esferas. Se debe sincronizar adecuadamente la tasa de aplicación del termoplástico con la tasa de aplicación de las esferas.
- **Adhesión del material:** La unión termal es esencial. Después que el material se ha enfriado, se recomienda verificar la adherencia entre el material termoplástico y la superficie del pavimento. Los procedimientos a seguir, por lo general son definidos por los fabricantes de cada producto.

El método de colocación implementado, definirá los espesores de pintura termoplástica colocada. Para aplicaciones mediante el método de rociado se obtienen espesores de pintura que oscilan entre 40 mils (1.02 mm) y 90 mils (2.29 mm) y para aplicaciones a través del método de

extrusión se obtienen valores de espesor de pintura que oscilan entre 60 mils (1.52 mm) y 125 mils (3.18 mm).¹⁵ Se debe verificar constantemente los espesores colocados, mediante la utilización de láminas de medición o mediante la utilización de micrómetros.

Otros factores como la velocidad de aplicación, tasas de aplicación y presiones de aplicación, son definidas por el fabricante del producto y muchas veces reguladas por las condiciones de aplicación del producto.

3.1.3 Vida útil de las pinturas termoplásticas.

Se entiende como vida útil de la pintura, el período de tiempo en que ésta puede ser visualizada por los conductores tanto de día como de noche, desde una distancia lo suficientemente adecuada para que éstos puedan ser advertidos o informados. Las pinturas termoplásticas presentan una vida útil promedio estimada entre 4 a 6 años, dependiendo de las condiciones en que se encuentre (medioambiente, ubicación física de la señalización y otros). Cabe indicar que, si bien es cierto la vida útil de las pinturas termoplásticas se ve reducida cuando son expuestas a altos niveles de tráfico, otro factor que contribuye a esto, se genera cuando las llantas de los vehículos nunca hacen contacto con la señalización, provocando que la pintura se rigidice y se vuelva quebradiza, debido a las condiciones climáticas existentes. Se debe tomar en cuenta también, la incidencia del espesor de la pintura; si la pintura presenta un espesor limitado, la vida útil de la señalización disminuye; sin embargo, a espesores relativamente altos, la pintura incrementa su rigidez y se vuelve quebradiza.

3.1.4 Problemas frecuentes en el proceso constructivo en la aplicación de esferas de vidrio.

En la siguiente tabla, se presenta información de problemas frecuentes en los procesos constructivos llevados a cabo para la aplicación de esferas de vidrio.

¹⁵ Modificado de documento Criteria for Successful Termoplastic Application

TABLA No.3 PROBLEMAS FRECUENTES, CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES, EN LA APLICACIÓN DE ESFERAS DE VIDRIO¹⁶			
PROBLEMA	CAUSA	EFECTO	SOLUCIÓN
Las demarcaciones poseen una textura lisa en la superficie	<ul style="list-style-type: none"> - Las esferas están demasiado sumergidas en la demarcación - No se aplicaron esferas de vidrio a la demarcación o la tasa de aplicación de las esferas es demasiado baja - Equipo de rociado defectuoso - Equipo de rociado está colocando las esferas fuera de la demarcación 	Se registran valores de retroreflectividad inicial bajos	<ul style="list-style-type: none"> - Alta temperaturas de la pintura (en caso de utilizarse pinturas colocadas en caliente) - Ajustar o reposicionar el dispositivo de rociado de las esferas - Incrementar la tasa de aplicación de las esferas - Proporcionar mantenimiento al equipo de rociado
Las demarcaciones aparecen con exceso de esferas	<ul style="list-style-type: none"> - Las esferas no están embebidas adecuadamente (muy superficiales) - Tasa de aplicación demasiado alta 	Pérdida temprana de retroreflectividad inicial	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementar la temperatura de la pintura (en caso de utilizarse pinturas colocadas en caliente) - Reposicionar el dispositivo de rociado - Disminuir la tasa de aplicación de las esferas
La demarcación aparece con erupciones	Las esferas han estallado	Baja retroreflectividad inicial	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuir la temperatura del material (en caso de utilizarse pinturas colocadas en caliente) - Reposicionar el dispositivo de rociado

3.1.5 Problemas frecuentes en el proceso constructivo en las pinturas termoplásticas.

La siguiente tabla contiene información de problemas frecuentes que se presentan en los procesos constructivos llevados a cabo para la aplicación de pinturas termoplásticas.

¹⁶ Adaptado de Pavement Marking Handbook, pág. 2-16. Virginia Department of Transportation

TABLA No.4 PROBLEMAS FRECUENTES, CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES, EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS TERMOPLÁSTICAS¹⁷			
PROBLEMA	CAUSA	EFECTO	SOLUCIÓN
La línea aplicada presenta ondulaciones e irregularidades en los bordes	<ul style="list-style-type: none"> - Pintura no compatible con el tipo de aplicación. - Pintura aplicada muy caliente - Presión de aplicación demasiado alta - Puerta extrusora demasiado ancha - Superficie de rodadura desigual 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre reflectividad - Pobre apariencia - Pobre durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar si el tipo de pintura es compatible con el tipo de aplicación - Ajustar la temperatura del material - Bajar presión de aplicación - Ajustar la tasa de aplicación del equipo de colocación
Líneas descoloridas, beige o deslucidas	Pintura sobre calentada o recalentada mas veces de las establecidas por el fabricante	<ul style="list-style-type: none"> - No presenta el color adecuado - La demarcación es quebradiza / baja durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Descartar la pintura termoplástica y sustituir pintura - Ajustar la temperatura de la pintura
Aparecen huecos en la línea de pintura termoplástica	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad retenida en la superficie de pavimento - El primer no curó - Aire retenido en la superficie de pavimento - Baja presión de aplicación de la pintura 	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiente agarre - Baja durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Detener la operación hasta que no exista humedad - Detener la operación hasta que el primer haya curado - Bajar velocidad de aplicación de pintura para rellenar los huecos en el pavimento - Aumentar la presión de colocación de la pintura (en el caso que se coloque mediante el método de rociado)
Aparecen grumos en la línea de pintura.	La pintura no ha sido mezclado correctamente	Baja durabilidad	Remezclar la pintura termoplástica
La línea de pintura presenta un ancho menor al establecido	<ul style="list-style-type: none"> - Pintura aplicada a velocidades altas (método de rociado) - Ancho de sistema extrusor con regulación deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja adherencia a la superficie - Baja durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuir la velocidad de aplicación de la pintura - Regular el ancho del sistema extrusor
La línea de pintura aparece rasgada	Superficie de aplicación sucia	<ul style="list-style-type: none"> - Baja adherencia en la superficie - Baja durabilidad 	Limpiar la superficie de pavimento
La línea de pintura aparece diferente en la zona del inicio y fin	El aplicador de la pintura no ha sido ajustado adecuadamente	Pobre apariencia	Ajustar el aplicador de la pintura
Línea de pintura dañada por los neumáticos de los vehículos	- Se ha abierto al tráfico antes del secado de la pintura	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre reflectividad - Pobre apariencia 	Mantener el tráfico cerrado hasta que la pintura haya secado

¹⁷ Modificado de Roadway Delineation Practice Handbook, de la FHWA, pág. 93, 94 y Pavement Marking Handbook, de Texas Department of Transportation, pág. 2-23.

CONTINUACIÓN DE TABLA No 4...

PROBLEMA	CAUSA	EFEECTO	SOLUCIÓN
La línea de pintura presenta poca adherencia	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie de aplicación sucia - Baja temperatura de aplicación de la pintura - Humedad en el pavimento - Material defectuoso - Aplicación de la pintura a alta velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre adherencia - Baja durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la superficie del pavimento - Aumentar la temperatura de aplicación de la pintura - Detener la aplicación hasta que no exista humedad - Sustituir material termoplástico - Disminuir velocidad de aplicación
La línea de pintura presenta burbujas	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad retenida en la superficie de pavimento - Pintura sobre calentada - Baja presión de aplicación de la pintura (método de rociado) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre apariencia - Baja durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Detener la aplicación hasta que no exista humedad - Descartar material - Aumentar la presión de aplicación de la pintura (método de rociado)
La superficie de la línea de pintura presenta grietas	<ul style="list-style-type: none"> - Pintura recalentada más veces de las establecidas por el fabricante - Baja temperatura de aplicación - Espesor de colocación muy delgado 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre apariencia - Baja durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Sustituir material termoplástico a colocar - Aumentar la temperatura del material a colocar - Incrementar el espesor de colocación del material
La línea de pintura presenta cierta lisura con pequeños huecos en su superficie	<ul style="list-style-type: none"> - Esferas de vidrio muy profundas - El aplicador de las esferas está a poca distancia de la superficie aplicación - Presión de aplicación muy alta 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja retroreflectividad inicial - Pobre apariencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Regular la altura del aplicador de esferas - Regular la presión de aplicación de las esferas
El material termoplástico blanco se ha oscurecido o el material termoplástico amarillo se ha vuelto verdoso o anaranjado	<ul style="list-style-type: none"> - La pintura ha sido sobre calentada o recalentada mas veces de las establecidas por el fabricante - Se ha realizado una inadecuada limpieza de la tolva de calentamiento - Los restos de pintura termoplástica amarilla no fueron totalmente removidos de la tolva en la aplicación anterior 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobre apariencia - Baja durabilidad - Disminución de la retroreflectividad 	<ul style="list-style-type: none"> - Descartar y sustituir material de la tolva de calentamiento - Limpiar adecuadamente la tolva de calentamiento

3.2 Pinturas Acrílicas de Base Agua.

Las pinturas base agua fueron unas de las primeras pinturas para tráfico utilizadas en el mundo. La pintura acrílica data de la primera mitad del siglo XX y fue desarrollada paralelamente en Alemania y Estados Unidos; este tipo de pintura está constituida por una emulsión acrílica y resinas suspendidas en la base, que para este tipo de pintura la constituye el agua. La pintura acrílica es una clase de pintura de secado rápido, en la que los pigmentos están contenidos en una emulsión de un polímero acrílico (aglutinante vinílico, generalmente). Aunque son solubles en agua en estado líquido, una vez secas son resistentes a la humedad. Asimismo, al secar se modifica ligeramente el color y el espesor.

Las pinturas están compuestas por pigmentos, resinas (en este caso una resina acrílica) y esferas de vidrio. Las resinas acrílicas son los componentes que proveen las propiedades de adhesión y cohesión a la pintura. La pintura acrílica de base agua, a diferencia de la pintura acrílica de base solvente, disminuye los problemas relacionados con la contaminación del medio ambiente, ya que no contienen plomo, eliminando los compuestos orgánicos volátiles que las pinturas de base solvente poseen y se comportan similarmente a las pinturas convencionales.

3.2.1 Métodos de colocación.

A continuación se presenta la información relacionada con los métodos de colocación de la pintura acrílica base agua¹⁸.

- **Colocación por medio de brocha:** Método manual, es un proceso muy similar al empleado para la colocación de pintura sobre una pared, este proceso de colocación por lo general es relativamente lento; para conseguir mayores espesores debe aplicarse dicho material en varias capas. Cabe indicar que se necesita de la colocación de cinta adhesiva en los bordes laterales para garantizar el ancho previamente definido.
- **Colocación por medio de rodillo:** Este método consiste en aplicar la pintura por medio de un rodillo manual o mecánico, el cual posee un ancho igual al ancho de la franja deseada. De manera similar que en el método anterior, se necesita incrementar el número de pasadas (capas) para incrementar su espesor.
- **Colocación por medio de máquinas de rociado (esprayado):** Este método involucra el uso de una pistola de aplicación por presión de aire que atomiza la pintura, la pintura se adhiere a la superficie por medio de una unión mecánica con los poros de la superficie del pavimento. Este método presenta una velocidad mayor de aplicación en comparación con los métodos anteriores. Es necesario además, regular las tasas de aplicación del producto para regular el espesor deseado.

La retroreflectividad que este tipo de señalización ofrece, se logra a través de la adición de esferas a la pintura, las cuales son colocadas inmediatamente después del proceso de aplicación

¹⁸ Modificado de Manual de Colocación de Pintura Acrílica Base Agua, Brown 2003

de la misma (drop-on) mediante la utilización de mecanismos de rociado, mediante una tasa de aplicación de aproximadamente 700-800 gramos por cada litro de pintura¹⁹.

Algunas ventajas que presenta este tipo de pintura son: secado rápido (entre 10 y 15 minutos dependiendo de las características ambientales), fácil aplicación, recomendadas para usarse tanto en pavimentos de concreto hidráulico, como en pavimentos de concreto asfáltico, minimizan los efectos medioambientales, etc. Es necesario indicar que los espesores de pintura en estado húmedo, disminuyen una vez éstas han secado, lo anterior debido a la pérdida de agua en las mismas. Cada distribuidor provee fórmulas para calcular los espesores en estado seco, de esta manera es necesario verificar los espesores en estado húmedo en los momentos de aplicación de la pintura, para que inmediatamente después se calcule los espesores finales o en estado seco.



Fotografía 9. Demarcación horizontal a base de pintura Acrílica de Base Agua.

En recuadro se observa el acabado de la superficie de la señalización

[Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, Pavimentación de Camino Rural Chapeltique – Guatajiagua – Yamabal – San Francisco Gotera]

3.2.2 Recomendaciones para la aplicación de las pinturas acrílicas base agua.

Este tipo de pintura es menos sensitiva a los cambios de temperatura, humedad y otras características medioambientales que si afectan a las pinturas termoplásticas. Para asegurar las propiedades de adherencia, deben llevarse a cabo los siguientes controles²⁰:

- La superficie de colocación debe estar libre de polvo, basura o cualquier otro tipo de partícula que pueda afectar su desempeño.

¹⁹ Tomado de Boletín Técnico Sherwin Williams, No. 115.04.

²⁰ Modificado de Pavement Marking Handbook, de Texas Department of Transportation

- La superficie de colocación debe estar libre de marcas existentes, esferas de vidrio y compuestos de curado.
- La superficie de pavimento debe estar libre de humedad y no debe de aplicarse cuando la humedad relativa sea mayor a 85%.
- Las temperaturas de la superficie del pavimento deben ser mayores a 5° C. No se debe aplicar la pintura cuando la temperatura ambiente sea menor a 10° C.
- La pintura no debe mezclarse con ningún otro tipo de material, ni otro producto distinto a este tipo de pintura.

Este tipo de pintura es aplicada en espesores de 6 mils (0.15 mm) a 8 mils (0.20 mm). Es importante indicar que los espesores de la pintura colocada pueden influenciar el tiempo de secado, a mayor espesor, mayor tiempo de secado.

El tiempo de secado para este tipo de pintura es aproximadamente el siguiente: Para una aplicación de la pintura en un ambiente con una temperatura de 25° C y 50% de humedad relativa se obtienen tiempos de secado al tacto de 10 a 15 minutos, 60 minutos para que el material se vuelva duro y de 75 a 90 minutos para poner en servicio. El rendimiento que podría brindar la pintura podrá variar en base al tipo de superficie a pintar, método de aplicación utilizado, condiciones de trabajo y espesor de película seca²¹.

La aplicación de un primer/sellador no es necesaria en ningún tipo de superficie, cabe indicar que en algunas ocasiones es necesaria la aplicación de una segunda capa de pintura para corregir problemas surgidos.

En superficies nuevas de concreto hidráulico, será necesario proporcionar un tiempo de secado o fraguado de 30 días antes de la colocación de la pintura. Se recomienda además que estas superficies se laven con una solución de 10% de ácido muriático, en agua, con la finalidad de neutralizar la alcalinidad de la superficie y posteriormente lavar perfectamente y dejar secar mínimo 12 horas²².

3.2.3 Vida útil de las pinturas acrílicas base agua.

Las pinturas acrílicas presentan una vida útil promedio estimada entre 1 a 2 años, dependiendo de las condiciones en que se encuentre (medioambiente, ubicación física de la señalización y otros). De igual manera que con las pinturas termoplásticas, la vida útil de este tipo de pintura se ve reducida cuando son expuestas a altos niveles de tráfico, de la misma manera es afectada por las condiciones climáticas. Se debe tomar en cuenta también, la incidencia del espesor de la pintura; si la pintura presenta un espesor limitado, la vida útil de la señalización disminuye.

3.2.4 Problemas frecuentes en el proceso constructivo de pinturas acrílicas base agua.

La siguiente tabla contiene información conteniendo problemas frecuentes que se presentan en los procesos constructivos llevados a cabo para la aplicación de pinturas acrílicas base agua.

²¹ Modificado de boletín técnico Sherwin Williams No. 115.04

²² Modificado de boletín técnico Sherwin Williams No. 115.04

TABLA No. 5 PROBLEMAS FRECUENTES, CAUSAS, EFECTOS Y SOLUCIONES EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS ACRÍLICAS BASE AGUA²³			
PROBLEMA	CAUSA	EFECTO	SOLUCIÓN
El centro de la línea de la pintura presenta un espesor mayor que el espesor de los bordes	- Alta presión de aplicación de la pintura - La boquilla del aplicador presenta demasiada abertura de riego - La presión de atomización es demasiado baja	- Pobre apariencia - Baja durabilidad	- Calibrar la presión de aplicación - Cerrar la abertura de la boquilla ligeramente - Aumentar la temperatura de aplicación
El centro de la línea de la pintura presenta un espesor menor que el espesor de los bordes	- Presión de atomización demasiado alta - La boquilla del aplicador presenta suciedad - La presión del tanque que contiene a la pintura es baja	- Pobre apariencia - Baja durabilidad	- Disminuir la presión de atomización - Limpiar la boquilla continuamente - Incrementar la presión del tanque de la pintura
La línea de pintura posee mayor espesor en un borde y menor espesor en el otro	- La boquilla del aplicador presenta inclinación - La boquilla del aplicador presenta suciedad	- Pobre apariencia - Desgaste no uniforme - Baja retroreflectividad	- Ajustar la inclinación de la boquilla del aplicador - Limpiar la boquilla del aplicador continuamente
La línea de pintura es demasiado ancha	- La boquilla del aplicador se encuentra ubicada a poca distancia del pavimento - El tamaño de la abertura de la boquilla no es el adecuado - El ángulo de salida de la boquilla no es el adecuado	- Pobre apariencia - Baja durabilidad	- Regular la distancia de la boquilla al pavimento - Ajustar la abertura de la boquilla - Ajustar el ángulo de salida de la boquilla
La línea de pintura es demasiado angosta	- La boquilla se encuentra ubicada muy distante del pavimento - El tamaño de la abertura de la boquilla no es el adecuado - El ángulo de salida de la boquilla no es el adecuado	- Pobre apariencia - Baja durabilidad	- Regular la distancia de la boquilla respecto a la superficie del pavimento - Ajustar la abertura de la boquilla - Ajustar el ángulo de salida de la boquilla
La línea de pintura es demasiado delgada	- La presión de salida de la boquilla es demasiado baja - La velocidad del vehículo aplicador es demasiado alta	- Baja apariencia - Bajo nivel de retroreflectividad	- Incrementar la presión de salida de la boquilla - Disminuir la velocidad del vehículo aplicador
La línea de pintura es demasiado gruesa	- La presión de salida de la boquilla es demasiado alta - La velocidad del vehículo aplicador es demasiado baja	- Incomodidad de los conductores cuando circulan sobre la carretera - Se incrementan los costos de aplicación	- Disminuir la presión de salida de la boquilla - Incrementar la velocidad del vehículo aplicador
Decoloración de la pintura sobre pavimentos asfálticos nuevos	Bajo espesor de la pintura sobre una superficie oscura	Baja apariencia	Aplicar una segunda capa de pintura

²³ Modificado de Pavement Marking Handbook, de Texas Department of Transportation, pág. 2-26 y 2-28.

3.3 Pinturas termocromáticas.

No obstante que las temperaturas ambientes de nuestro país son calidas y por lo general constantes en todo el año, se consideró importante hacer referencia a un tipo de pintura utilizada en zonas donde la visibilidad de la señalización disminuye por efecto de las bajas temperaturas, donde existe altas probabilidades de accidentes debido a la presencia de hielo sobre la superficie de pavimento, nos referimos a las pinturas termocromáticas.

Las pinturas termocromáticas son aquellas que cambian de color según la temperatura de la misma. La señalización horizontal con **pintura termocromática**²⁴ persigue advertir al conductor de la presencia de **hielo en la carretera**, ya que se modifica el color blanco a un **color rosado** cuando la temperatura baja aproximadamente a uno o dos grados centígrados (ver fotografía No. 10). De este modo la señalización permite informar sobre la presencian de zonas con hielo, también mejora la visibilidad en caso de niebla o nieve. Una vez la temperatura de la zona se incrementa, ésta volverá a su color original.



Fotografía 10. Pintura termocromática sobre estructura de pavimento.

[Tomado de documento Pinturas termocromáticas para Ayudarnos Contra el Hielo de www.circulaseguro.com]

3.4 Compatibilidad entre pinturas utilizadas en señalización horizontal vial.

Cuando se determina que la señalización horizontal existente se encuentra por debajo de los estándares requeridos, es necesario que se lleven a cabo nuevos procesos de demarcación; estos procesos pueden llevarse a cabo mediante la previa sustitución del material existente o mediante la aplicación de la nueva demarcación sobre la pintura existente, previa adecuación y limpieza de la zona que se volverá a señalar, utilizando para tal fin el mismo tipo de pintura o mediante la aplicación de un material de características diferentes, verificando previamente que exista compatibilidad entre el nuevo material a colocar y el anteriormente colocado. Al respecto, en la

²⁴ Tomado de <http://www.circulaseguro.com/2008/09/23-recuperando-pintura-termocromatica-para-ayudarnos-contra-el-hielo>

tabla No.4, se presenta los índices de compatibilidad entre las pinturas comúnmente utilizadas en la señalización vial.

MATERIAL EXISTENTE	TIPO DE NUEVO MATERIAL A COLOCAR				
	Pintura base agua	Pintura base solvente	Pintura epóxica	Metil Metacrilato	Termoplástico
Pintura base agua	✓				✓
Pintura base solvente	✓	✓			✓
Pintura epóxica	✓	✓	✓		
Metil Metacrilato	✓	✓		✓	
Termoplástico	✓	✓			✓

Tabla No. 6. Compatibilidad con los materiales existentes.
[Tomado de Airfield Marking Handbook, an IPRF research report, pág. 22].

3.5 Análisis comparativo de costos de las demarcaciones de pavimento.

En general, la evaluación de la efectividad o conveniencia de utilizar un determinado tipo de pintura para la señalización vial de una carretera, puede realizarse considerando dos variables:

1) **Retroreflectividad** y 2) **Costos**. Al respecto, es importante considerar lo siguiente:

- 1) **Retroreflectividad:** Es una medida de la porción de la luz procedente de los faroles de un vehículo, incidente en la señalización, que es reflejada hacia los ojos del conductor del vehículo (ver sección 2.0 RETROREFLECTIVIDAD EN LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL DE CARRETERAS). El nivel de retroreflectividad de una señalización vial no se mantiene constante en el tiempo, la degradación que sufre está relacionada con la calidad de los materiales utilizados, el proceso constructivo implementado y el nivel de tráfico vehicular, entre otros.

Generalmente, se considera que la vida útil de las demarcaciones horizontales culmina cuando se alcanza el nivel de retroreflectividad mínimo, necesario para la correcta visualización de la señalización vial, establecido por las agencias que administran la red vial. Al respecto, tal como se indicó en el apartado 2.1.2 de este documento, la Federal Highway Administration establece, en el documento *Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs*, valores mínimos de retroreflectividad por debajo de los cuales el ojo humano ya no es capaz de percibir correctamente la información proporcionada por la señalización horizontal según la velocidad de los automóviles. A continuación se presenta los valores de retroreflectividad sugeridos.

Color de la señalización	Valor mínimo de R_L (mcd/m ² /lux) dependiendo de las velocidades límites permisibles en carretera.		
	Menor o igual a 50 km/h	50-90 km/h	Mayor o igual a 90 km/h
Blanco	La señalización presenta algún nivel de retroreflectividad	80	100
Amarillo	La señalización presenta algún nivel de retroreflectividad	65	80

Tabla No. 7. Valores de R_L mínimos según velocidad de los automóviles.

- 2) **Costos:** Es el monto que ha sido utilizado para el suministro y colocación de la señalización vial. Al respecto, debe tomarse en consideración, que el análisis de costos de la señalización vial, no debe limitarse a una comparación de los montos iniciales de instalación, sino que debe considerar, para un periodo dado de análisis, los costos necesarios para mantener la señalización bajo los niveles de servicio recomendados.

En la tabla que se presenta a continuación, se indica los costos iniciales promedio de instalación (incluye costos directos de suministro y colocación) y los períodos de vida útil promedio, correspondiente a pinturas termoplásticas y pinturas acrílicas base agua, las cuales son los tipos de pintura más utilizados en nuestro país.

<i>Tabla No. 8. Costos promedios de suministro y colocación y períodos de vida útil, para pinturas termoplásticas y pinturas acrílicas base agua</i>		
Tipo de pintura	Costo de instalación por metro lineal	Período de vida útil
Pintura termoplástica	\$1.50	4 – 6 años ²⁵
Pintura acrílica base agua	\$1.00	1 – 2 años

Con base en los costos indicados en la tabla anterior, los cuales corresponden a montos promedio de instalación y que han sido utilizados únicamente para fines de análisis de este documento, si una vía es señalizada utilizando pintura acrílica base agua, el costo inicial para instalar dicha pintura será aproximadamente 30% menor respecto al costo inicial necesario para instalar pintura termoplástica; sin embargo, la vida útil de esta última es 2 ó 3 veces mayor.

Por lo anterior, en una vía que posee pintura acrílica base agua, se deberá realizar 2 ó 3 intervenciones, para mantener la señalización dentro de los niveles de servicio que tendría una vía con pintura termoplástica, por lo que los costos, muy probablemente se incrementen en esa misma proporción. Cabe indicar que en dichos costos, no se han considerado los gastos en que incurre el usuario de la vía, debido a los retrasos por las actividades de mantenimiento.

Con base en lo anterior, se considera que generalmente la señalización constituida por pintura termoplástica, al final de su vida útil, tendrá una relación costo-efectividad mayor que la obtenida en una señalización a base de pintura acrílica base agua.

²⁵ Tomado de Roadway Delineation Practice Handbook, de la FHWA.

4.0 REFERENCIAS.

- AIRFIELD MARKING HANDBOOK, Innovative Pavement Research Foundation, 2002.
- ASTM D 6359 *Standard specification for minimum reflectance of newly applied pavement marking using portable hand-operated instrument.*
- ASTM E 1710 *Standard test method for measurement of retroreflective pavement marking materials with CEN- Prescribe geometry using a portable retroreflectometer.*
- BOLETÍN TÉCNICO SHERWIN WILLIAMS, No. 115.04.
- CRITERIA FOR SUCCESSFUL TERMOPLASTIC APLICACION, Ennis Paint, 2005.
- EVALUATION OF WET-WEATHER AND CONTRAST, Federal Highway Administration, 2004.
- LONG TERM PAVEMENT MARKING PRACTICE, National Cooperative Highway Research Program, 2002.
- Normativa AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002.
- PAVEMENT MARKING COURSE, Virginia Department of Transportation, 2007.
- PAVEMENT MARKING HANDBOOK, Texas Department of Transportation, 1999.
- ROADWAY DELINATION PRACTICE HANDBOOK, Federal Highway Administration, Agosto 1994.
- SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL, Helio Moreira, Roberto Menegon, 2003.
- UPDATES TO RESEARCH ON RECOMMENDED MINIMUM LEVELS FOR PAVEMENT MARKING RETROREFLECTIVITY TO MEET DRIVER NIGHT VISIBILITY NEEDS, Federal Highway Administration, 2002.

Páginas de internet:

<http://www.circulaseguro.com/2008/09/23-recuperando-pintura-termocromatica-para-ayudarnos-contr-el-hielo>

<http://www.gusgsm.com>

<http://www.pottersindustriesinc.com>

[Pagina Principal](#)

Email: uidv.contacto@mop.gob.sv