

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



**NUEVA METODOLOGÍA DE SEÑALIZACIÓN
HORIZONTAL PARA CARRETERAS EN GUATEMALA**

**Trabajo de investigación presentado por
Justo Alfredo Cóbar Guerra
para optar al grado académico de Ingeniero Civil**

Guatemala

2,008

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

NUEVA METODOLOGÍA DE SEÑALIZACIÓN

HORIZONTAL PARA CARRETERAS EN GUATEMALA

Justo Alfredo Cobar Guerra

Guatemala

2,008

**NUEVA METODOLOGÍA DE SEÑALIZACIÓN
HORIZONTAL PARA CARRETERAS EN GUATEMALA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

NUEVA METODOLOGÍA DE SEÑALIZACIÓN

HORIZONTAL PARA CARRETERAS EN GUATEMALA

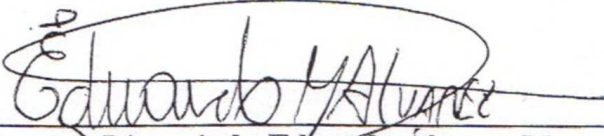
**Trabajo de investigación presentado por
Justo Alfredo Cobar Guerra
para optar al grado académico de Ingeniero Civil**

Guatemala

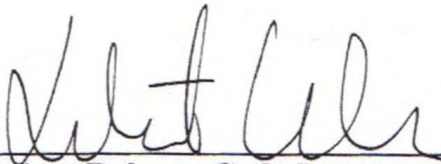
2,008

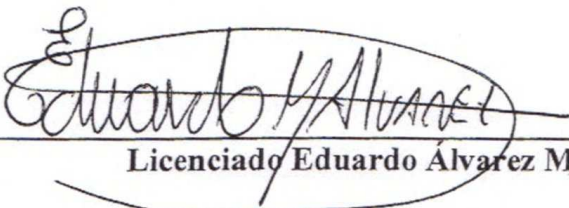
A Jesús y la Virgen María
A mis padres:
Justo Cobar Montenegro
Blanca Luz Guerra de Cobar
Por su amor y apoyo
incondicional


Vo. Bo. :

(f) 
Licenciado Eduardo Álvarez M.
Asesor

Tribunal Examinador:

(f) 
Ingeniero Roberto Godo Levensen

(f) 
Licenciado Eduardo Álvarez M.

(f) 
Ingeniero Julio David Guerra Villeda

Fecha de aprobación: Guatemala 14 de abril de 2,008.

o.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANÁLISIS DE LA SEÑALIZACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA.....	3
III. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	5
IV. APLICACIONES DEL TERMOPLÁSTICO EN CARRETERAS.....	9
V. MAQUINARIA PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL.....	51
VI. RELACIÓN DE COSTOS CON MÉTODOS TRADICIONALES UTILIZADOS Y EL TERMOPLÁSTICO.....	85
VII. MARCADORES REFLECTIVOS PARA PAVIMENTO.....	87
VIII. CONCLUSIONES.....	93
IX. RECOMENDACIÓN FINAL.....	97
X. BIBLIOGRAFÍA.....	101
XI. ANEXOS.....	103
XII. GLOSARIO.....	105

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Componentes del termoplástico blanco.....	12
2. Componentes del termoplástico amarillo.....	13
3. Gradación de microesfera de vidrio.....	16
4. Análisis comparativo cualitativo entre el termoplástico de hidrocarburo y Alkyd.	20
5. Guía de solución de problema en la aplicación de las microesferas de vidrio.....	41
6. Clasificación de los distintos tipos de hornos de prederretimiento que se encuentran en el mercado.....	75
7. Distintas partes que conforma un horno de prederretimiento.....	78
8. Análisis de costo de los distintos tipos de señalización horizontal que existen en el mercado.....	85

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
1. Presentación de termoplástico granulado.....	11
2. Microesferas de vidrio aumentadas en microscopio sobre la línea termoplástica...	19
3. Aplicación de <i>Crown Epoxy Coating</i>	24
4. Aplicación de termoplástico por absorción.....	25
5. Aplicación de termoplástico por absorción.....	25
6. Aplicación de termoplástico por gravedad.....	26
7. Termoplástico aplicado con soplete sobre textura rústica.....	31
8. Apollo II trabajando sin horno Plus 1	53
9. Apollo II trabajando con horno Plus 1	53
10. Apollo II trabajando letras con un solo operador.....	54
11. Hornos de prederretimiento de termoplástico independientes.....	54
12. Apollo II realizando trabajos de señalización en Coatepeque.....	54
13. La GM201SR con características similares a la Apollo II	55
14. La GM201SR con características similares a la Apollo II	55
15. Apollo II y los accesorios de apollo.....	59
16. Titán II remolcada por un pick up Chevrollet de 8 cilindros.....	64
17. La primera Titán II construida.....	65
18. Abasteciendo con termoplástico a la Titán II en el proyecto Cuatro Caminos.....	65

19. Abasteciendo con termoplástico a la Titán II en el proyecto Puerto Quetzal.....	66
20. Abasteciendo con termoplástico a la Titán II en el proyecto Puerto Quetzal.....	66
21. Abasteciendo con termoplástico a la Titán II en el proyecto Puerto Quetzal.....	66
22. Abasteciendo con termoplástico a la Titán II en el proyecto Puerto Quetzal.....	67
23. Abasteciendo con termoplástico a la Titán II en el proyecto Puerto Quetzal.....	67
24. Titán II aplicando la línea central en el proyecto Escuintla-Puerto Quetzal.....	68
25. Equipo de señalización en el proyecto Escuintla-Puerto Quetzal.....	69
26. Equipo de señalización en el proyecto Moyuta, Jutiapa.....	69
27. Equipo de señalización en el proyecto Sololá.....	70
28. Aplicando termoplástico sobre adoquín en el proyecto Guastatoya.....	70
29. Aplicando termoplástico sobre concreto hidráulico en el proyecto Guastatoya...	71
30. Hércules aplicando línea y Aqualite central termoplástica en área urbana.....	72
31. Hércules aplicando línea central termoplástica en área urbana.....	74
32. Hércules aplicando doble línea central termoplástica en área urbana.....	74
33. Hornos de prederretimiento de material termoplástico.....	80
34. Sistema de abastecimiento de hornos de prederretimiento.....	80
35. Aplicando calor a cinta de HoTape	81
36. Precalentamiento de pavimento antes de colocar HoTape.....	82
37. Aplicando calor a cinta de HoTape	82
38. Aplicando calor a cinta de HoTape	82

39. Flecha de HoTape	82
40. PM ERASE en operación.....	84
41. Repuestos de los anillos de corte del PM ERASE	84
42. Marcador de pavimento tipo vialeta, instalado en concreto hidráulico.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Molde para aplicación de termoplástico con abertura y deslizamiento fijo.....	27
2. Molde para aplicación de termoplástico con abertura fija y deslizamiento con pivote.....	27
3. Molde para aplicación de termoplástico con abertura ajustable y deslizamiento fijo.....	28
4. Molde para aplicación de termoplástico con abertura pequeña y deslizamiento con pivote	28
5. Molde para aplicación de termoplástico con sistema de listón.....	29
6. Dispensador para aplicación de termoplástico con sistema de aerosol.....	30
7. Falla en la línea de termoplástico por ligazón.....	45
8. Falla en la línea de termoplástico por ligazón.....	45
9. Falla en la línea de termoplástico por quebradura.....	46
10. Falla en la línea de termoplástico por vejigatorio.....	47
11. Falla en la línea de termoplástico por sobrecalentamiento.....	48
12. Falla en la línea de termoplástico por rasgado interno.....	48
13. Falla en la línea de termoplástico por oleada.....	49
14. Falla en la línea de termoplástico por protuberancia.....	49
15. Falla en la línea de termoplástico por sombras laterales, frontales o posteriores..	50
16. Sistema Apollo serie II.....	58

17. Sistema de hornos de prederretimiento de termoplástico.....	77
18. Efecto de espejo en línea convencional de termoplástico.....	88
19. Efecto de retroreflectividad del Aqualite.....	88
20. Distintos modelos de marcadores de pavimento tipo vialeta.....	90
21. Método de instalación de marcador de pavimento tipo vialeta.....	92

RESUMEN

Dada la importancia que ha adquirido el material termoplástico en el mundo desarrollado como alternativa para la delineación horizontal de carreteras y considerando que no existen especificaciones y regulaciones adecuadas en el proceso de preparación y aplicación del material, se desarrolla este trabajo con la finalidad de crear las bases para la elaboración de dichas especificaciones.

El trabajo se inicia con los antecedentes históricos que motivaron a fabricar y mejorar este material, dando a conocer los problemas, inconvenientes y resultados que se tuvieron a lo largo de su historia y como fueron evolucionando hasta convertirse en lo que actualmente representa la línea permanente para material de señalización horizontal. No se puede dejar de mencionar y es bueno recalcar que Guatemala formó parte de esta evolución contribuyendo en este desarrollo, ya que fue aquí, donde se probaron de forma experimental algunas de las máquinas y sistemas de aplicación del producto que hoy en día se utilizan en todo el mundo.

A pesar, del aporte que Guatemala dio a este proceso, se realizó una investigación en los manuales mas importantes que están relacionados con la regularización de este material y sus aplicaciones, como es el caso de las ***ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES*** y ***ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE***

CONSERVACIÓN VIAL y las *ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE CONSERVACIÓN VIAL*, llegando a la conclusión que la información es mínima e insuficiente.

En este trabajo se incluye la definición, tipos y especificaciones del material termoplástico y productos de apoyo como las vialetas y las microesferas de vidrio utilizando literatura proporcionada por algunos fabricantes y manuales internacionales como es el caso de **ASTM (anexo F)** y **la AASHTO (anexo G)**.

Sustentados en la experiencia que se ha tenido en Guatemala también se describen y se recomiendan las maquinas que se consideran mas importante para la aplicación exitosa del material, tales como la “**Apollo II**”, “**La Titán**”, “**El Hercules**” y sus equipos de apoyo como lo son los hornos de prederretimiento y borradoras de termoplástico.

Se incluyen también las diferentes técnicas y métodos para evaluar la aplicación del material termoplástico.

Sin dejar por un lado la factibilidad económica de la utilización del material termoplástico, se incluye un cuadro donde se hace un análisis comparativo con otros productos de señalización horizontal y su vida útil.

I. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este trabajo es dar a conocer los sistemas básicos para actualizar la reglamentación de la División 700, de Las **ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES**, Segunda edición, marzo del 2004 (*Anexo 1*) y la División 300 de Las **ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE CONSERVACIÓN VIAL**, referente a “MATERIAL PARA SEÑALAMIENTO Y DEMARCACIÓN” (*Anexo 2*), sin pretender realizar una nueva reglamentación, más bien, dar los lineamientos básicos a considerar y hacer conciencia de la necesidad de actualizar esta reglamentación, dada la importancia que ha adquirido el material termoplástico para la señalización en el mundo desarrollado.

Es importante meditar cómo se van dando los acontecimientos en esta sociedad en cuanto a comunicación vial se refiere. Hay que ir transformando la reglamentación para permitir que los cambios tecnológicos positivos puedan implementarse sin tener tropiezos de tipo legal, económico, práctico o de cualquier otra índole. Esos son los cambios que se sugieren en Las **ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES** y **ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE CONSERVACIÓN VIAL**: Permitir que estos nuevos productos y métodos de señalización, puedan ser aplicados en Guatemala de una forma técnicamente apropiada creando las bases para iniciar la regularización de las especificaciones.

Este proyecto se enfoca fundamentalmente a la aplicación del termoplástico en Guatemala, un acontecimiento que ya dio sus primeros y grandes pasos en los últimos

años en este país sin que existan reglamentaciones ni especificaciones formales sobre el mismo. Esto puede ser la puerta hacia la profesionalización de la señalización en general de las carreteras, en otras palabras, no se puede hablar de actualizar los métodos de señalización sin hablar primero de termoplástico.

Es por eso que antes de poder analizar los grandes beneficios que este producto de delineación horizontal da en el mundo, hay que hacer un análisis sobre la Sección 718 de Las ***ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES*** de la Dirección General de Caminos del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas y Las ***ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE CONSERVACIÓN VIAL***.

II. ANÁLISIS DE LA SEÑALIZACIÓN DE CARRETERAS EN GUATEMALA

A. Descripción de los métodos y reglamentos utilizados por Las Especificaciones utilizados en Guatemala.

Con relación a la señalización de carreteras, Las *ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES* tiene contemplado su reglamentación en la división 700, sección 718.13 a 718.23.

De la sección 718.13 a la sección 718.16, se refiere a pintura preparada especial para utilizar en pavimentos de concreto asfáltico o de concreto de cemento Pórtland conforme a la norma FSS TT –P- 115F (*Anexo 3*), a base de agua acrílica, indicando sus normas (*Anexo 4*), demarcación con poliéster conforme a la norma FTMS 141 método 6121 (*Anexo 5*) y demarcación con plástico preformado conforme a ASTM D 4505 tipo I, V, VI, o VII, grado A, B, C, D, o E (*Anexo 6*).

La sección 718.17 es la única que se dedica al termoplástico y se refiere a la norma de calidad conforme a la AASHTO M 249 (*Anexo 7*), de la cual se tratará en la sección IV-C, referente a **especificaciones del termoplástico**.

La sección 718.19 y 718.20 se refieren a las esferas de vidrio que proporcionarán la retroreflectividad a la señalización conforme a AASHTO M 247 (*Anexo 8*), haciendo referencia a su granulometría y su coeficiente retroreflectivo. Se ampliará este tema en la sección IV-D referente a **retroreflectividad del termoplástico**.

La sección 718.21 se refiere a la utilización de cinta retroreflectiva como apoyo para la señalización temporal. Se ampliará este tema en la sección IV-E referente a **tipos de termoplástico**.

Con relación a la señalización de carreteras, las *ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE CONSERVACIÓN VIAL* no menciona ningún tipo de señalización horizontal a pesar que la División 300 refiere al mantenimiento de la red vial pavimentada.

Se hace una descripción enumerativa de las secciones de la reglamentación guatemalteca sobre señalización horizontal con la finalidad de ilustrar la poca información y desarrollo que han tenido las especificaciones en lo que a este tema se refiere.

Considerando lo importante que hoy en día se ha vuelto la señalización de carreteras debido al continuo crecimiento de vehículos y siendo el punto medular la señalización horizontal, a continuación se desarrolla una investigación sobre este tema queriendo demostrar que el termoplástico debe ser la mejor alternativa a utilizar.

III. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La habilidad de viajar sobre las carreteras en vehículo depende mucho de la eficiencia en la visibilidad de las referencias que dan las líneas amarillas, blancas y negras (*Anexo 9*) de la señalización horizontal tanto durante el día como en la noche.

En 1,990 el termoplástico *Alkyd* fue introducido por primera vez en Guatemala por la empresa **Pavimarcas**, aplicándose en el Boulevard Los Próceros con carácter experimental, en donde se demostró su durabilidad, ya que no fue sino hasta en 1,996 cuando se sustituyó la señalización horizontal en este Boulevard.

Debido a ese éxito, desde entonces casi la totalidad de las carreteras nuevas se señalizan con termoplástico y muchas de las existentes se han procedido a utilizar el mismo producto, considerándose hoy en día un verdadero sustituto para la pintura de tráfico convencional (*Anexo 3*) o la pintura de agua 100 % acrílico (*Anexo 4*).

Este avance dio inicio a otras empresas con este giro comercial. Por la durabilidad que se ha caracterizado el termoplástico, en muchos otros países del mundo, se le conoce como “Línea permanente” (“*Perma-Line*”) y actualmente se fabrica en Estados Unidos, Venezuela y Japón.

El termoplástico fue introducido por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial en Inglaterra, utilizado como un sustituto de la pintura debido a la escasez de esta. El solvente de resinas enlazadoras fue mezclado con pigmentos y arena; el resultado de este producto cuando se derrite al calentarse sería una línea de tráfico sobre la carretera.

La primera aplicación de termoplástico fue ejecutada por primera vez en 1,952 en Atlanta, Georgia, USA. Aún tenía la deficiencia que mientras el material sí era durable, la

línea blanca tendía a ponerse negra y la amarilla se ponía verde cuando se calentaba. Las gotas de aceite producidas por los vehículos y las mezclas de aceite en los pavimentos *bituminosos (Glosario 1)* eran compatibles con el material termoplástico causando su rápido deterioro.

En 1,955 una compañía conocida con el nombre de **Broadway Maintenance**, ubicada en la ciudad de Nueva York, USA, perfeccionó un nuevo producto de material termoplástico para el pavimento que no se oscurecía por el tráfico y no se ponía verde al calentarse como sucedía con el amarillo. A este producto lo llamaron “**Línea permanente**” (*Perma Line*).

Este producto fue la primera marca de línea de tráfico durable que trabajó bien en Manhattan, Nueva York, USA, la carretera más contaminada hoy en día. Las calles se mantienen calientes debido al laberinto de conductos y tuberías que se encuentran bajo la superficie de la misma. El diesel, combustibles, ácidos, lluvia y grasas que continuamente atacan la superficie de la carretera eran otros factores que se unían a este reto. La “**Línea Permanente**” trabajó bien en estas condiciones adversas porque estaba compuesta por un sistema de resinas enlazadoras que eran impermeables a estas sustancias.

Hoy en día ciudades, estados y naciones alrededor del mundo confían en la durabilidad del sistema de la “**Línea permanente**” para pavimentos.

La “**Línea Permanente**” de termoplástico cuenta con muchos años de eficiencia y experiencia, demostrando que la pintura de tráfico es únicamente efectiva por algunos meses. Además, el espesor de la línea de termoplástico, se encuentra elevada sobre la superficie del pavimento, deslizando el agua sobre la misma, habilitando a la línea a ser más visible durante la época lluviosa.

La empresa **Pave Mark (Stimsonite)** de Atlanta, Georgia, USA, fue fundada en 1,957 para especializarse en marcas de pavimentos durables y se convirtió en los primeros productores exclusivos para producir los productos de “**Línea permanente**”.

IV. APLICACIONES DEL TERMOPLÁSTICO EN CARRETERAS

El propósito de esta sección es proveer suficiente información para obtener un exitoso resultado en la aplicación de termoplástico en los distintos pavimentos a la vez de sugerir la base para las especificaciones de nuestros códigos. El objetivo es que sea beneficioso para los ingenieros, público en general, contratistas, cuadrillas que trabajan etc.

Tanto los contratistas como los subcontratistas quieren buenos resultados: El contratista quiere maximizar el valor de su inversión y el subcontratista maximizar su eficiencia. Correctamente especificado y aplicado el termoplástico en el pavimento podrá alcanzar estas metas y hasta superar la garantía en su rendimiento y durabilidad.

Hacer el trabajo de la forma correcta la primera vez que se señala un pavimento es la forma de lograr el éxito pues nunca más será interrumpido el tráfico en ese pavimento por motivos de señalización.

En muchos lugares del mundo, la aplicación del termoplástico se ha convertido en el sistema de señalización más conveniente por su durabilidad y retroreflectividad proveyendo una forma adecuada para el ordenamiento del tráfico.

A pesar que cada carretera que se señala se somete a muchas variantes con relación a los cambios de temperatura, humedad, tipos de pavimento y tráfico, estos problemas pueden superarse con la utilización del termoplástico siempre y cuando se tengan bien definidas las especificaciones de la aplicación del mismo.

Los otros tipos de material utilizados en señalización que han sido sometidos a exámenes una vez aplicados en la superficie del asfalto, son afectados por aceites

detergentes, grasas y diesel. El termoplástico tiene la capacidad de ser repelente a todas estas variedades de sustancias. Cuando el termoplástico se utiliza apropiadamente, según las especificaciones, ningún otro producto se le puede igualar en su capacidad de resistencia a aceites y grasas.

Los materiales termoplásticos de *Alkyd* y de hidrocarburo de la “**Línea permanente**” están disponibles para ser aplicados en aerosol y listón. Sacan las formulaciones en todos los colores y en bloque o forma granulada.

A. Definición de termoplástico.

El termoplástico es un material 100% sólido, ambientalmente seguro, conformado con componentes enlazadores, resinas, pigmentos, relleno y esferas de vidrio, el cual se derrite cuando se le aplica calor.

Las esferas de vidrio les proporcionan retroreflectividad durante la noche; **los pigmentos** le proporcionan color y opacidad (*Glosario 2*); **rellenos**, como el carbonato de calcio (*Glosario 3*) que le da el volumen y **enlazadores** consistente de plastificantes y resinas (*Glosario 4*) las cuales proporcionan rigidez, flexibilidad y fuerza de enlazamiento para mantener todos los materiales unidos. Es considerado un material correoso (*Glosario 5*) por su elasticidad y flexibilidad que provee una superficie virtualmente impermeable a la contaminación de los materiales a los cuales están expuestas las carreteras.

FOTOGRAFÍA 1

PRESENTACIÓN DE TERMOPLÁSTICO GRANULADO



(FOTOGRAFÍA TOMADA EN LAS BODEGAS DE STIMSONITE ATLANTA GA. USA)

B. Especificaciones del termoplástico.

La delineación en carreteras con termoplástico consiste en un material a ser aplicado a un pavimento asfáltico o de concreto Pórtland fundido por calentamiento. Sus cualidades deben estar acordes con las establecidas en la **Norma AASHTO M-249**.

La formulación del material debe ser hecha por el fabricante debiendo reunir las consideraciones que se indican en el *Tabla 1* y *Tabla 2*:

TABLA 1	
COMPONENTES	TERMOPLÁSTICO BLANCO
RESINA COMO AGLOMERANTE (Glosario 4)	20.4 %
DIÓXIDO DE TITANIO TIPO RUTILO (Glosario 6)	6.0 %
MICRO ESFERAS DE VIDRIO	26.0 %
CARGAS INERTES (Glosario 7), CARBONATO DE CALCIO (Glosario 3)	47.6 %
TOTAL	100.0 %
ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
COLOR	BLANCO NIEVE
SECAMIENTO	15 MINUTOS DESPUES DE APLICADA A 204 °C (400 °F) Y TEMPERATURA AMBIENTE DE 25 °C (77 °F).
FLEXIBILIDAD (Anexo 9)	ANTES DEL SECADO DEBE SER MOLDEABLE.
CONSERVACIÓN EN ENVASE	NO PRESENTA ENDURECIMIENTO NI CAMBIO DE COLOR.
RIGIDEZ	SOPORTA GOLPE SECO.
TIEMPO DE ALMACENAJE	15 MESES A TEMPERATURA AMBIENTE.
PROPIEDADES DE APLICACIÓN	
ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
TEMPERATURA DE APLICACIÓN	DE 190 - 210°C (375-410°F).
ASPECTO	NO CAMBIA EL COLOR NI LA APARIENCIA CON ALTA TEMPERATURA.
RETENCIÓN DE MICROESFERAS	100%
ESPESOR	2,3 mm.

TABLA 2	
COMPONENTES	TERMOPLÁSTICO AMARILLO
RESINA COMO AGLOMERANTE	19.1 %
DIÓXIDO DE TITANIO TIPO RUTILO Y PIGMENTOS	2.6 %
MICRO ESFERAS DE VIDRIO	25.0 %
CARGAS INERTES, CARBONATO DE CALCIO.	53.3 %
TOTAL	100.0 %
COLOR	AMARILLO
SECAMIENTO	15 MINUTOS DESPUES DE APLICADA A 204 °C (400 °F) Y TEMPERATURA AMBIENTE DE 25 °C (77 °F).
FLEXIBILIDAD	ANTES DEL SECADO DEBE SER MOLDEABLE
CONSERVACIÓN EN ENVASE	NO PRESENTA ENDURECIMIENTO NI CAMBIO DE COLOR.
RIGIDEZ	SOPORTA GOLPE SECO
TIEMPO DE ALMACENAJE	15 MESES A TEMPERATURA AMBIENTE
PROPIEDADES DE APLICACIÓN	
ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
TEMPERATURA DE APLICACIÓN	DE 175 - 190°C (350-375 °F).
ASPECTO	NO CAMBIA EL COLOR NI LA APARIENCIA CON ALTA TEMPERATURA
RETENCIÓN DE MICROESFERAS	100%
ESPESOR	2,3 mm.

1. Tiempo de secado. Cuando se aplica a una temperatura de 211 °C (412 °F) más o menos 7 °C (45 °F) y con espesor que varía entre 2.3 mm y 4.8 mm. los tramos con el material colocado en pista podrán ser abiertos al tráfico en no más de 2 minutos cuando la temperatura ambiente es de 10 °C (50 °F) más o menos 2 °C (36 °F) y en no más de 10 minutos cuando la temperatura ambiente es de 32 °C (90 °F) más o menos 2 °C (36 °F).

2. Resistencia al fisuramiento a baja temperatura. Cuando el material Termoplástico es calentado por un período de 240 más o menos 5 minutos a una temperatura de 218 °C (424 °F) más o menos 2 °C (36 °F), aplicado a un bloque de concreto y enfriado a -9.4°C (15 °F) más o menos 1.7 °C (35 °F), el material no debe presentar fisuramiento.

3. Índice de fluidez (Anexo 10). Después de ser calentado el material termoplástico durante 240 más o menos 5 minutos a una temperatura de 218 °C (424 °F) más o menos 2 °C (36 °F) y ensayado por su capacidad de fluir, el material termoplástico de color blanco deberá tener un porcentaje residual máximo de 18 y el termoplástico de color amarillo de 21.

4. Durabilidad. El material termoplástico deberá mantener sin alteración las características dadas en esta especificación por un período no menor de un año.

Cualquiera que dentro de este período no cumpla algunos de estos requisitos deberá ser reemplazado por el contratista.

5. Índice de coloración amarilla. El material termoplástico de color blanco no deberá exceder de un índice de coloración amarillo de 0.12.

C. Retroreflectividad del termoplástico.

Las microesferas de vidrio constituyen el material que aplicado a las delineaciones horizontales de tránsito producen su retroreflectividad por la incidencia de las luces de los vehículos mejorando visibilidad nocturna o condiciones de restricciones de iluminación como los producidos por agentes atmosféricos.

Las delineaciones de carreteras sin microesferas de vidrio son virtualmente inútiles de noche. Además de ello, las llantas de los vehículos rodarían directamente sobre la capa lisa de la marca y desgastarían el material más rápido.

La forma de obtención de las mismas se realiza a través de un tratamiento de los vidrios a altas temperaturas.

El procedimiento de laboratorio de las microesferas de vidrio según la norma AASHTO M-247, previamente a ser aplicadas en cualquiera de sus ámbitos, se realiza una mezcla de las mismas; es decir, se combinan microesferas de vidrio de diferente tamaño de cara a crear una mezcla ideal, llamada granulometría.

Una vez realizada la mezcla, ésta deberá recorrer un circuito de tamices o coladores de diferente tamaño, que retendrá o dejará pasar el granulado. Éste resultado es el que indicará la granulometría final de la microesfera de vidrio.

Puede realizarse de dos maneras:

Directo: Indicando el % de microesferas que han atravesado el tamiz.

Inverso: Indicando el % de microesferas retenidas en el tamiz.

Las microesfera de vidrio según la norma AASHTO M-247 se clasifica de acuerdo a su tamaño o gradación según lo indica e **Tabla 3**:

TABLA 3		
GRADACIÓN DE MICROESFERA DE VIDRIO		
TAMIZ	% QUE PASA TAMIZ	
	TIPO I	TIPO II
0.850 mm (No. 20)	100	-
0.600 mm (No. 30)	75 - 95	100
0.425 mm (No. 40)	-	90 - 100
0.300 mm (No. 50)	15 - 35	50 - 75
0.180 mm (No. 80)	-	0 - 5
0.150 mm (No. 100)	0 - 5	-
Porcentaje de flotación:	50 a 60	
Índice de refracción (<i>Glosario 11</i>):	1.5 1.55	
Resistencia a la abrasión (<i>Glosario 12</i>) (lb.) Ret. Malla No. 40.	30 mínimo	
Redondez (%) (<i>Glosario 13</i>):	70 mínimo	
Resistencia a la humedad:	Las esferas no deben absorber humedad durante su almacenamiento. Deben permanecer libres de grumos y deben fluir libremente desde el equipo de dispersión.	
Resistencia a los ácidos:	No presentarán al ser observadas posteriormente al microscopio, señal alguna de haber sido dañado.	
Resistencia a la solución de 1N de Cloruro Cálculo	No presentarán, al ser observadas posteriormente al microscopio, señal alguna de haber sido dañadas.	

1. **Las granulometrías** suelen representarse de forma simplificada indicando los tamices superior e inferior; en este caso anterior sería 850-150; con lo que podríamos extraer una idea aproximada de la mezcla. A mayores, ésta, puede ser más homogénea o de un diámetro promedio alto o bajo.

2. **Mezclas homogéneas** son aquellas en que la distribución de los tamaños es similar. Es decir, la mayor parte de las microesferas de vidrio son similares en toda la mezcla o su distribución es progresiva.

3. **Mezclas heterogéneas** son aquellas donde la diferencia de tamaños entre las microesferas de la mezcla es radical.

Pese a que en la mezcla anterior, los tamices varían desde 850-150, podemos observar que la mayor parte de la microesfera se encuentra entre los tamices 850-600 para el Tipo I y 600-300 para el Tipo II. Este dato, reflejará si la microesfera de vidrio tiene un diámetro promedio alto o bajo.

Esto es importante, ya que las granulometrías varían según el uso que se le va a la microesfera de vidrio, entre las que se diferencian los dos tipos:

En principio, se pueden encontrar dos tipos de microesferas de vidrio según su aplicación:

- **Microesferas de vidrio de premezclado** se trata de uno de los ingredientes esenciales del termoplástico usado en la señalización vial. La mezcla de sus microesferas de vidrio suele ser homogénea y su diámetro promedio alto. Además, su tamiz superior suele superar las 1000 micras. Su mezcla con el termoplástico es esencial ya que mejora cualitativamente sus propiedades de retroreflectividad.

- **Microesferas de vidrio de post-mezclado** usualmente son aplicadas al mismo tiempo que el termoplástico, mediante pistolas de presión especializadas para ello, de 8 lb. a 10 lb. (3.63 Kg a 4.54 Kg) por 100 pies cuadrados (9.29 m²). Sus granulometrías suelen ser muy variada. Además, durante el proceso de producción, éstas se pueden procesar mediante tratamientos superficiales con diferentes materiales de cara a mejorar sus propiedades físicas de conservación, adherencia o flotación.

La aplicación de las microesferas de vidrio estará de acuerdo con el espesor de la línea de termoplástico, debiendo garantizarse una flotabilidad entre 50% y 60% a fin de garantizar la máxima eficiencia de retroreflectividad de las microesferas de vidrio aplicadas. La microesfera de vidrio de mayor eficiencia y rendimiento será la de Tipo II, de la **Tabla 3**.

El coeficiente de retroreflectividad durante su vida útil de la delineación de termoplástico deberá presentar como mínimo 150 mcd/lx. m² (**Glosario 14**).

Color del pigmento y tipo de resina es otro factor que afecta la retroreflectividad de la delineación del termoplástico. La retroreflectividad alcanzada por las líneas amarillas es menor que la de las líneas blancas. Se admite una disminución de entre 20% a 33 % de las retroreflectividad mínimas de la línea amarilla, respecto de la blanca. Cuanto más alta la exigencia, mayor es la diferencia relativa entre los dos colores. Dentro de cada color, varía la retroreflectividad, según si la resina favorece o no el transporte de la luz entre las microesferas de vidrio y las partículas de pigmento. También influye el grado de dispersión o finura de los pigmentos dentro de la matriz del material. En la **Fotografía 2** se pueden observar las distintas dimensiones, la distribución y el anclaje de las microesferas de vidrio.

FOTOGRAFÍA 2

MICROESFERAS DE VIDRIO AUMENTADAS EN MICROSCOPIO SOBRE LA LÍNEA TERMOPLÁSTICA



(FOTOGRAFÍA PROPORCIONADA POR *MUNDOSPES*)

D. Tipos de termoplástico.

Tomando como base la conformación por su origen de las resinas enlazadoras, se puede clasificar el termoplástico para delineación de carreteras en dos tipos:

1. Termoplástico de hidrocarburo. Sus resinas están hechas a base de derivados del petróleo la que lo hace compatible con aceites y diesel.

2. Termoplástico Alkyd. Un material superior en calidad, sus resinas están hechas de derivados de madera, un recurso natural renovable, el cual es impermeable a aceites y grasas.

La *Tabla 4* muestra un análisis comparativo entre los dos productos:

TABLA 4		
CUALIDAD	TERMOPLÁSTICO DE HIDROCARBURO	TERMOPLÁSTICO ALKYD
Mayor resistencia al agrietamiento		X
Mayor valor de retroreflectividad		X
Cualidad de ser aplicado inmediatamente después de haber finalizado el trabajo de pavimentación		X
Impermeabilidad a aceites y grasas		X
Mayor estabilidad al calor	X	
Durabilidad en áreas urbanas		X
Recomendado para ser utilizado en sistemas tipo listón		X
Recomendado para ser utilizado en sistemas tipo aerosol.	X	
Derivado de productos renovables		X
Menor costo unitario	X	
Generación de humo no contaminante		X

3. HoTape. Otra formulación termoplástica que da como resultado una especie de calcomanía la cual puede ser prediseñada para la ejecución de letras o símbolos sobre el asfalto. Acelera el trabajo en este tipo de diseños, pero lo hace un producto totalmente inoperante por su costo y tiempo de aplicación para proyectos de delineación de carreteras, razón por la cual no se incluye en la **Tabla 4** para el análisis comparativo pues los parámetros son diferentes. Posee gran capacidad de adherencia, impermeabilidad y retroreflectividad. Este producto está disponible en rollos con grosores de 60 y 90 milésimas de pulgada (1.5 mm a 2.3 mm) de espesor.

E. Metodología de la aplicación de la maquinaria.

1. Generalidades. El termoplástico para aplicarse en delineación de carreteras se prepara en hornos especiales, ya sea en forma granular, cuyo empaque es una bolsa de termoplástico, la cual después de romperla y derramar el material dentro del horno podrá introducirse dentro del mismo, actividad que evitará la generación de basura, o sólida prederretida (block), cuyo empaque es una caja de cartón con cera en el interior para evitar que se pegue el material a la caja de 50 Lb. (22.68 Kg.), donde se calienta y se agita hasta derretirse a una temperatura superior a los 204 °C (400 °F). Unas paletas giratorias deberán mantener al material agitado hasta introducirlo en la máquina aplicadora de listón o aerosol, la cual pueden graduarse a distintos espesores o anchos. Una capa adicional de esferas de vidrio como acabado final se aplica inmediatamente para producir retroreflectividad inicial durante la noche. Cuando se aplica en carreteras de mezcla asfáltica, el material produce una adherencia a través de la fusión por

calentamiento siempre y cuando las condiciones de preparación de la carretera sean satisfactorias especialmente cuando el asfalto es nuevo. Cuando se aplica en carreteras de concreto de cemento Pórtland, se recomienda un sellador especial para proporcionar una mejor adherencia.

La maquinaria para aplicar el material deberá mantener el criterio de las especificaciones que pueda proporcionarle el contratista o el fabricante del material. El subcontratista deberá ser responsable de este equipo y de su mantenimiento. El equipo podrá ser motorizado o manual. De igual forma deberá verificar que la maquinaria de limpieza de la superficie de la carretera proporcionada por el contratista sea la adecuada.

El equipo de aplicación deberá cumplir con las siguientes normas y recomendaciones:

a. Horno para derretir el material. El horno deberá cumplir con las siguientes características:

1) Calentar el material termoplástico a su temperatura de aplicación sin que este se calcine. El mecanismo de calentamiento del horno deberá utilizar un medio de transferencia de calor consistente en aceite o aire caliente.

2) Mantener la temperatura arriba de 400 °F (204 °C), pero no mayor a 450 °F (232 °C).

3) La llama de los quemadores no deberá hacer contacto directo con la superficie de la pared del horno donde se encuentra el material.

4) Un indicador de temperatura deberá ser visible en la parte exterior del horno para indicar la temperatura del material termoplástico. El indicador de temperatura

del material deberá ser diferenciado adecuadamente del indicador de temperatura del aceite de transferencia.

5) La temperatura del material deberá ser monitorearse frecuentemente por un calibrador de termómetro externo.

6) Ser equipado con paletas agitadoras.

7) Ser capaz de mezclar y mantener la temperatura sin que ésta se pierda mientras se alimenta con material crudo.

b. Equipo de preparación de la superficie. En el caso de la superficie que deberá prepararse antes de aplicar el material, ya sea de pavimento de concreto o asfalto viejo, el material imprimador (se recomienda el sellador *Crown Epoxy Coating*) deberá ser rociado en forma uniforme y que garantice el recubrimiento de toda la superficie de la línea termoplástica con la máquina adecuada.

En la *Fotografía 3* se puede observar la aplicación del epóxico sobre un pavimento de concreto. La máquina aplicadora posee una tecnología simple cuya bomba de expulsión se acciona por una cadena accionada al empujar la llanta de rodadura.

c. Dispensador de las microesferas de vidrio. Para obtener un resultado óptimo en la aplicación de la capa final de las microesferas de vidrio en cuanto a la retroreflectividad, deberán estar convenientemente ancladas en el material (La máxima retroreflectividad se obtiene cuando el 60 % de las microesferas de vidrio de esta última capa se encuentran sumergidas en el material termoplástico). Las microesferas de vidrio deben aplicarse inmediatamente después de depositar el material termoplástico para garantizar el perfecto anclaje de las mismas. Puede aplicarse por tres métodos:

FOTOGRAFÍA 3

APLICACIÓN DE *Crown Epoxy Coating*

PARQUEO DEL SÓTANO DEL EDIFICIO LAS MARGARITAS ZONA 10



1) **Por absorción:** Las microesferas de vidrio son extendidas en la superficie de la señalización a través de dispositivos neumáticos (a presión de aire). La extensión de microesferas deberá hacerse a través de un soplete con una válvula inyectora de material que deberá alinearse y distanciarse adecuadamente para garantizar el vaciado uniforme y anclaje de las microesferas de vidrio.

2) **Por gravedad:** La microesferas de vidrio son transferidas del depósito de almacenaje de la máquina a través de su propio peso y son extendidas en la superficie de la señalización por medio de un rodo distribuidor.

3) **Manualmente:** La microesferas de vidrio serán extendidas sobre el material termoplástico recién aplicado, con el impulso de las manos. Este proceso

solamente debe ser empleado cuando fuera imposible la utilización de los otros dos procesos por razones de espacio para la movilización de la maquinaria, pues no hay una perfecta distribución de las esferas de vidrio en la superficie del material, ni consistencia en el anclaje, lo que representa un inconveniente en términos de obtención de la máxima retroreflectividad. En la *Fotografía 4 y 5* muestra el método por absorción y la *Fotografía 6* el método por gravedad.

FOTOGRAFÍA 4

FOTOGRAFÍA 5

APLICACIÓN DE TERMOPLÁSTICO *POR ABSORCIÓN* MAQUINA TITÁN II



FOTOGRAFÍA 6

APLICACIÓN DE TERMOPLÁSTICO *POR GRAVEDAD* MAQUINA APOLLO II



(FOTOGRAFÍA PROPORCIONADA POR PAVEMARK CORP.)

d. Dispensador del termoplástico. La forma de aplicación del termoplástico puede ser de las siguientes formas:

1) Máquina que aplique termoplástico caliente en el método de expulsión (listón o molde) con una capa final de esfera de vidrio a la velocidad necesaria para que produzca alta retroreflectividad tal y como se describe en las especificaciones.

2) Máquina que aplique termoplástico caliente en el método de aerosol con una capa final de esferas de vidrio a la velocidad necesaria para que produzca alta retroreflectividad tal y como se describe en las especificaciones.

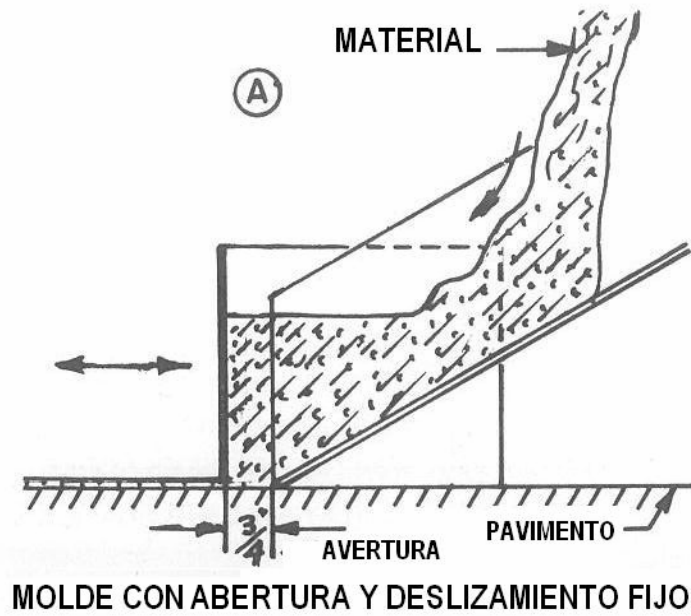
Los tres métodos de aplicar el termoplástico son:

a) **Dispensador de molde.** En la *Figura 1* se puede observar el método utilizado por molde, en el cual se mantiene constante el espesor de la línea que generalmente es de 90 milésimas de pulgada (2.3 mm). Se puede cambiar dicho espesor hasta 60 milésimas de pulgada (1.5 mm), utilizando para ello el pivote que se muestra en la *Figura 2*. Nótese que para obtener una línea eficiente, simétrica y sin defectos es importante que las partes frontales y laterales del molde mantengan contacto directo con el pavimento durante su recorrido.

Para pavimentos con deflexiones considerables o acabados muy rústicos (doble tratamiento como ejemplo), se ha implementado un molde con pivote adaptable al estado de la carretera y se pueda controlar el consumo del material de una forma más eficiente.

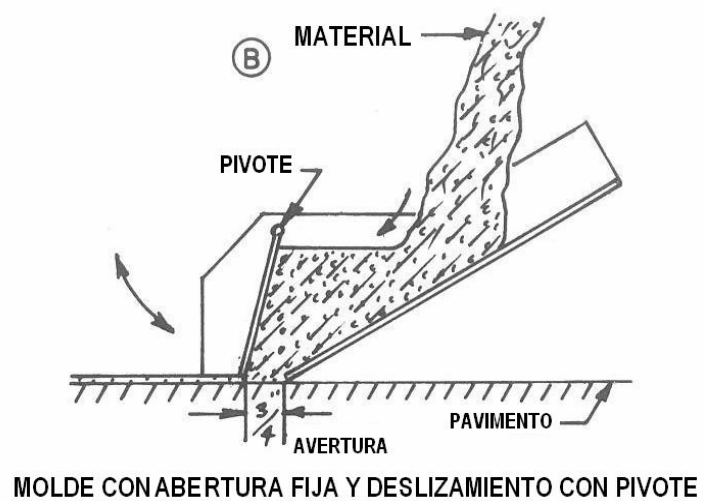
La dimensión de abertura de salida del material está relacionada con la temperatura ambiente en el momento de la aplicación. Mientras más baja sea la temperatura, se recomienda que la abertura de sea mas ancha ya que el caudal de salida será mas lento *Figuras 3 y 4*.

FIGURA 1



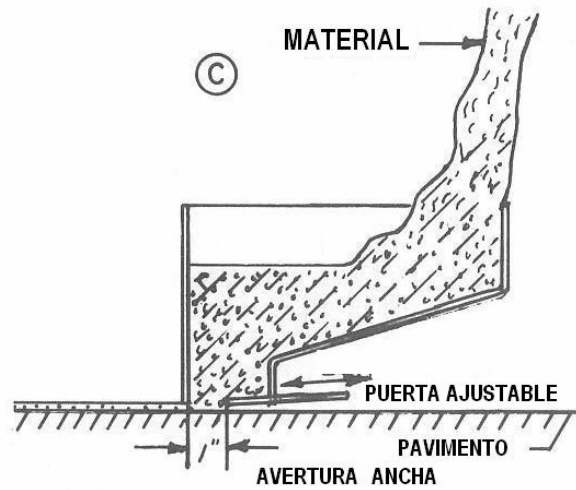
(FUENTE PAVEMARK CORP.)

FIGURA 2



(FUENTE PAVEMARK CORP.)

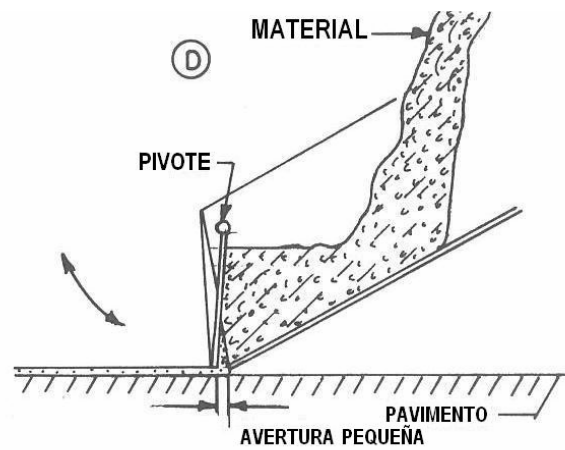
FIGURA 3



MOLDE CON ABERTURA AJUSTABLE Y DESLIZAMIENTO FIJO

(FUENTE PAVEMARK CORP.)

FIGURA 4

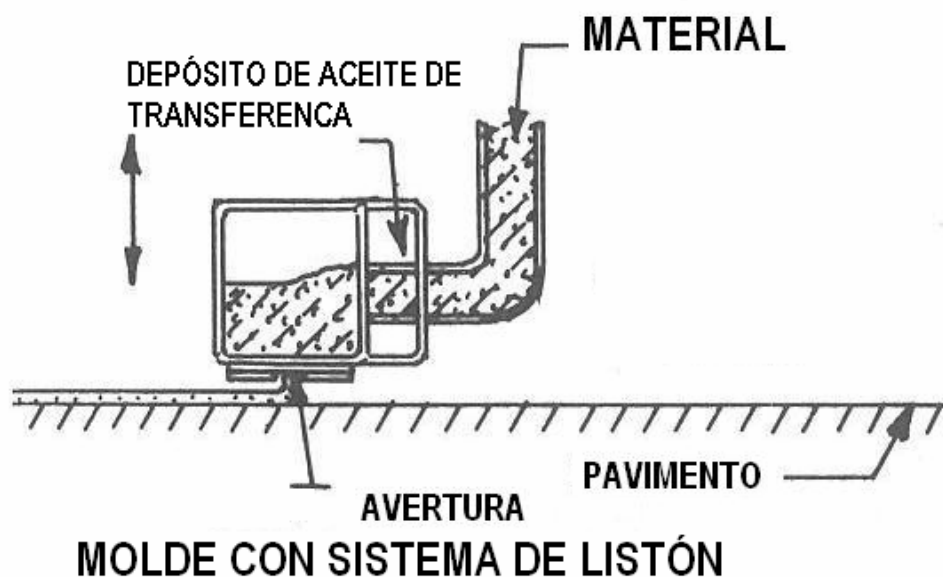


MOLDE CON ABERTURA PEQUEÑA Y DESLIZAMIENTO CON PIVOTE

(FUENTE PAVEMARK CORP.)

b) **Dispensador de listón.** En la *Figura 5* se muestra la pistola de aplicación del listón de termoplástico que posee un método de calentamiento constante por medio de aceite de transferencia para mantener la temperatura del material termoplástico durante el recorrido del horno precalentado al pavimento, siendo empujado por un “sin fin”. El dispensador siempre se encuentra suspendido en la superficie de la carretera a una distancia aproximada de $\frac{3}{4}$ de pulgada (1.54 cm.), siendo expulsado el material por gravedad, manteniendo una línea que sale en forma de listón bien definida. Este método se utiliza únicamente en aplicadoras mecánicas.

FIGURA 5



(FUENTE PAVEMARK CORP.)

c) **Dispensador de aerosol.** El resultado de este método al ser bien aplicado, que se muestra en la *Figura 6* es que siempre tiene que dar una línea con

uniformidad en su espesor, bien definida y fuertemente asegurada según las especificaciones del fabricante del material. Lógicamente el material deberá someterse a una compresión con aire que deberá estar seco cuando se mezcle con el termoplástico y a una temperatura de 450 °F (232 °C) para que pueda ser expulsado adecuadamente por soplete. Es una buena alternativa para carreteras con textura rústicas de pavimentos de asfalto y longitudes grandes *Fotografía 7*.

FIGURA 6



(FUENTE PAVEMARK CORP.)

FOTOGRAFÍA 7



(FUENTE *PAVEMARK CORP.*)

F. Especificaciones para la aplicación del material termoplástico.

Los **once** pasos más importantes a aplicar para lograr una aplicación óptima del termoplástico con la finalidad de conseguir una delineación durable, estética y retroreflectiva durante la noche son:

1. Coordinación del trabajo. Es necesario que el contratista de la carretera y el subcontratista encargado de la aplicación del material termoplástico, estén familiarizados con sus respectivas responsabilidades en el proceso de delineación para poder cumplir con las especificaciones del trabajo y así obtener resultados satisfactorios en la forma adecuada de aplicar el material termoplástico retroreflectivo en caliente para vías de tránsito o en cualquier forma especificada en los planos, tales como flechas, letras, “sargentos”, “escaleras”, pasos peatonales etc.

El subcontratista deberá coordinar conjuntamente con el Ingeniero residente del proyecto para recibir todas las instrucciones, indicaciones y sugerencias del proyecto y verificar que estén dentro de los sistemas de señalización standard.

El contratista deberá proveer al subcontratista de todos los materiales, equipo, y personal necesario para el proceso de preparación adecuado del pavimento previo a señalizarse, así como también el premarcaje necesario.

El subcontratista deberá proporcionar el personal necesario con experiencia para el manejo y aplicación del material para asegurar que el trabajo se realice adecuadamente y cumpliendo con las especificaciones del contrato.

El subcontratista tiene la responsabilidad de proporcionar el equipo adecuado y estar en buenas condiciones de tal forma que asegure que la aplicación sea continua, uniforme y espesor adecuado. Los cortes deberán ser satisfactoriamente limpios y uniformes. Cualquier desperfecto de la maquinaria durante el proceso de trabajo, podría ocasionar un prederretimiento inadecuado en el material termoplástico que podría repercutir en la vida útil del mismo.

Si es necesaria la utilización del sellador, el subcontratista deberá proveer el equipo necesario para aplicarlo de acuerdo a lo especificado por el fabricante.

El material termoplástico instalado deberá ser claramente visible durante el día y la noche por el automovilista. La visibilidad durante la noche deberá ser producida por la retroreflectividad inducida por las luces ordinarias de los automóviles sobre la delineación.

La línea de termoplástico, apropiadamente aplicada de acuerdo a lo requerido por las especificaciones del fabricante, se derretirá y fundirá sobre la superficie del pavimento

formando una cerradura físicamente positiva con la capa interior de la mezcla bituminosa (*Glosario 1*) o con la superficie del concreto con cemento Pórtland.

Si el pavimento se encuentra sucio y/o húmedo; o la temperatura ambiente, la superficie o el material a aplicar se encuentran a una temperatura más baja que la especificada; o cualquier otro problema no mencionado, el enlace mecánico del termoplástico con el pavimento no se realiza, si esto ocurre, la vida útil del material aplicado no será la esperada.

El subcontratista deberá suministrar la maquinaria adecuada para aplicar el material termoplástico en el pavimento de acuerdo con los detalles y especificaciones del contrato.

2. Preparación del pavimento. Para poder asegurar la máxima posibilidad de adherencia de la superficie del pavimento donde se aplica el termoplástico, deberá limpiarse apropiadamente de agentes nocivos como: grasas, aceites, polvo, arcilla, arena, pedrín suelto o cualquier tipo de material extraño precedente a la aplicación del termoplástico. En algunos casos un compresor de aire será suficiente para limpiar la superficie del asfalto. En otros casos se necesitará de un esfuerzo mayor utilizando una escoba mecánica combinado con el lavado de la superficie.

En superficies de pavimentos de concreto de cemento Pórtland y superficies añejas de mezcla asfáltica, que tengan menos del 8% de contenido bituminoso, se deberá aplicar el ligamento sellador (*binder sealer: Crown Epoxy Coating*) en el área donde el material termoplástico sea aplicado. Por razones de seguridad ambiental, estos productos están siendo descontinuados del mercado y pueden ser sustituidos por un sistema adecuado de “*sand-blasting*”.

El *Crown Epoxy Coating* es el sellador recomendado por los fabricantes de termoplástico, este deberá ser aplicado en forma de una película continua la cual secará rápidamente y quedará adherida al pavimento. El material termoplástico no se deberá decolorar ni mostrar ningún cambio visible en la apariencia superficial de su acabado final. Todos los solventes se evaporan del sellador antecedendo a la aplicación del material termoplástico derretido. No se debe aplicar el termoplástico antes de media hora ni después de cuatro horas de haber colocado el sellador. La utilización inapropiada del sellador, ya sea por hacer la mezcla de una forma inadecuada o la aplicación del material termoplástico fuera del tiempo recomendado, dará como resultado una degradación física de la delineación o la aparición de ampollas de aire sobre la misma.

El pavimento deberá estar visiblemente seco. La mínima cantidad de humedad en la superficie del asfalto, será suficiente para afectar la adherencia de este con el termoplástico. Si se aplica el termoplástico sobre una superficie húmeda, inmediatamente se podrá notar la existencia de burbujas o ampollas que explotan sobre la línea. Si esto sucede, se deberá suspender el trabajo hasta que la superficie del pavimento este completamente seca.

3. Premarcaje. Cuando existen rasgos o marcas de señalización anterior y lo suficientemente visibles para poder utilizarse como referencia de la nueva delineación, no se necesitará hacer ningún premarcaje. Bastará con repasar a lo largo del trazo anterior si es necesario. Es conveniente, si se llega a esta situación, hacer una inspección a todo el proyecto pues cualquier error que se haya cometido en la señalización anterior se cometerá en la nueva delineación.

Si las marcas de la señalización anterior no son lo suficientemente visibles o se realiza el trabajo de delineación por primera vez, que es el caso de las carreteras nuevas, el contratista está obligado a realizar el premarcaje de todas las señales antes de realizar la aplicación del material termoplástico con el equipo de topografía apropiado.

Para minimizar los errores de delineación causados por el premarcaje es recomendable tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

a. Las marcas deberán ser rectas o de curvatura uniforme, según sea el caso, debiendo coincidir uniformemente con las tangentes, curvas y transiciones.

b. El topógrafo deberá colocar los puntos de premarcaje necesarios que sirvan como referencia para la aplicación del termoplástico y nunca deberán estar colocados a una distancia mayor de 6 pies (1.83 m) para fines prácticos.

c. El premarcaje deberá ser realizado de tal forma que cuando se aplique la línea, esta deberá quedar por lo menos 2" pulgadas (5 cm.) separada del hombro de la carretera.

d. El termoplástico nunca deberá ser instalado hasta que el ingeniero residente apruebe el premarcaje.

4. Factores relacionados con el clima. Es recomendable verificar en climas fríos, la temperatura del pavimento, que esté por arriba de lo recomendado por las especificaciones del fabricante. De lo contrario, se deberá suspender el trabajo.

Dependiendo del método de aplicación del material termoplástico que utilice, la temperatura del pavimento no deberá estar por debajo de las siguientes escalas:

- a. Método de aerosol 50 °F (10 °C)
- b. Método de expulsión con molde 55 °F (13 °C)
- c. Método de expulsión con listón 65 °F (18 °C)

El viento también es un factor muy importante de tomar en cuenta pues no sólo puede apagar los hornos sino que puede enfriar el ambiente a una temperatura por debajo de las sugeridas por los fabricantes. El método de expulsión por listón, es el más afectado por el viento, puede reducir considerablemente la fuerza de unión entre el termoplástico y el pavimento. La aplicación de la esfera de vidrio también puede ser afectada pues ésta puede no caer de una forma uniforme.

La humedad en el pavimento o en el ambiente causado generalmente por neblina o lluvia hace perder parcial o totalmente la capacidad de adherencia del termoplástico. Cuando se presenta este factor climatológico, se debe suspender el trabajo.

5. Aplicación del termoplástico. Dependiendo del método que se utilice para aplicar el termoplástico, así será la temperatura recomendable de aplicación. Para el caso de expulsión es recomendable trabajar a una temperatura entre 400 °F (204 °C) y 440 °F (227 °C). En el caso de aerosol o spray se debe trabajar a una temperatura entre de 440 °F (227 °C) y 450 °F (232 °C). Temperaturas arriba de 450 °F (232 °C) pueden ser peligrosas ya que hará perder las cualidades del material y se corre el riesgo que se produzca llama en el mismo.

Las microesferas de vidrio deberán caer inmediatamente después de su aplicación sobre la línea de material termoplástico caliente, encajando y sujetando a una profundidad de 60% de su diámetro. El propósito de este proceso es de proveer

retroreflectividad inicial durante la noche en la delineación. Sin las esferas de vidrio, la línea sería escasamente visible para el automovilista.

Aplicar el termoplástico a la temperatura adecuada es uno de los factores más importantes para lograr una adherencia satisfactoria con la superficie del pavimento. Si la temperatura del pavimento está alrededor de 50 °F (10 °C), entonces la temperatura recomendable para el termoplástico es de 440 °F (227 °C). Si la temperatura del pavimento está alrededor de 77 °F (25 °C), Entonces el material termoplástico podrá aplicarse a una temperatura más baja que 400 °F (204 °C).

En el caso de pavimentos de concreto, la temperatura del termoplástico siempre deberá ser superior de 425 °F (218 °C) para poder maximizar la fuerza de adherencia y la penetración del mismo.

Es recomendable verificar continuamente las temperaturas del material en los hornos, accesorios de los dispensadores y aplicadores utilizando un termómetro infrarrojo como equipo de apoyo auxiliar.

Discrepancias en la temperatura de 10 °F (12 °C) son tolerables, pero en ningún caso será aceptable una discrepancia de 10 °F (12 °C) si esta está por debajo del mínimo recomendable para la aplicación.

Las resinas enlazadoras utilizadas tanto en termoplástico **Alkyd** como en el de hidrocarburo, se van degradando cuando la temperatura del material se encuentra por arriba de 450 °F (232 °C). Si la temperatura del material termoplástico se mantiene a 450 °F (232 °C) o más, por un período mayor de 4 horas, puede dar como resultado que la relación entre la viscosidad del material y la temperatura del mismo no sea constate.

Es recomendable que en ningún caso se mantenga el material a la temperatura máxima de aplicación por un período mayor de 4 horas. El tiempo total de calentamiento no deberá ser mayor de 6 horas.

6. Tratamiento del material termoplástico sobrante. Existen tres formas de afrontar el problema de la recuperación del material sobrante:

a. Si por alguna razón se sabe que se tiene que suspender el trabajo por un período prolongado de tiempo, hay que bajarle de inmediatamente la temperatura a los hornos y mantener los agitadores del horno de precalentamiento hasta alcanza una temperatura de 300 °F (149 °C).

b. Si sucede de una forma impredecible y los hornos no están llenos al 100%, hay que apagarlos y agregar de inmediato material crudo, rehabilitándolo de esta forma y bajándole la temperatura hasta alcanzar los 300 °F (149 °C) nuevamente. De esta forma el material prederretido que se tiene en el interior de los hornos quedará listo para ser utilizado en el próximo trabajo. Este es un método adecuado a seguir cuando se finaliza el día de trabajo, pues generalmente habrá material sobrante en los hornos que podrá utilizar al siguiente día ningún problema. Hay que tratar de no dejar los hornos con más del 50% de su capacidad pues esto ocasionará atraso en el tiempo de espera en el prederretimiento del próximo día de trabajo.

c. Si los hornos están llenos en el momento de finalizar el día de trabajo, únicamente en el caso del termoplástico **Alkyd**, se podrá rehabilitar aplicándole aceite comestible antes de apagarlo. Unos 2 galones (7.5 litros) por cada 2,000 libras (907 Kg.) será suficiente. Nunca hay que olvidar mantener los agitadores hasta alcanzar la temperatura de 300 °F (149 °C).

7. El agua como tratamiento final. En algunos proyectos se acostumbra a aplicar agua a la línea nueva de termoplástica por dos razones:

a. Para bajar la temperatura del material y se solidifique rápidamente evitando así que no sea lastimada por el tráfico. Teóricamente, el material termoplástico está diseñado para endurecer y poder ser sometido al tráfico normal en un período de 30 a 60 segundos después de haber sido aplicado dependiendo de las temperaturas de aplicación y ambientales. Un adecuado control del tráfico más prolongado (se sugiere 3 minutos), podría ser más práctico que estarle aplicando agua.

b. De igual forma, el agua se utiliza para retirar los aceites propios del termoplástico que únicamente son utilizados para su calentamiento y estos a pesar que a un corto plazo, se van diluyendo, mientras esto sucede, absorben suciedad y podrían mantener temporalmente la línea sucia. La experiencia ha demostrado que el agua de lluvia es la mejor solución para solventar este problema. Sin embargo si se llega a aplicar agua de forma artificial, ésta no deberá vértice 40 segundos antes de haber sido aplicada la línea.

8. Espesor del termoplástico. El espesor del termoplástico puede variar entre 30 milésimas de pulgada (0.7 mm) y 125 milésimas de pulgada (3.2 mm). El espesor de la línea está directamente relacionado con su vida útil. Lógicamente, una línea delgada se desgastará más rápidamente que una gruesa, por lo que es conveniente inspeccionar constantemente el espesor, tanto en caliente como en frío. Antes de iniciar un trabajo, se debe especificar el rango del grosor en que se va a trabajar. Se establece un rango ya que existe el error humano en el momento de la aplicación. Las máquinas tienen la capacidad de ser ajustadas al grosor que se desea, sin embargo, en el caso de la aplicación por listón

o aerosol, para mantener un espesor determinado hay que mantener una velocidad y una temperatura específica, lo que nos da una posibilidad de error. Es recomendable hacer ensayos antes de iniciar un proyecto para poder calibrar la maquinaria.

9. Aplicación de las microesferas de vidrio. Los problemas más importantes a considerar asociados con la aplicación de las microesferas de vidrio y que afectan su retroreflectividad son la **flotación incorrecta y la distribución dispereja**. Los métodos para evaluar la retroreflectividad durante el día son:

a. Auxiliarse con un microscopio o la lupa de aumento. Un microscopio iluminado muy económico puede ser usado para evaluar la densidad y distribución de las microesferas de vidrio inmediatamente después de su aplicación. Recordar que el grado de distribución solo puede ser verificado por inspección visual.

b. La utilización del retro-reflectómetro: Estos aparatos miden la visibilidad nocturna (Coeficiente de Luminancia Retroreflejada) del material. Existen distintos tipos de equipos para medir la retroreflectividad de la delineación. Las mediciones con aparato se hacen durante el día sobre un pavimento limpio y seco. Después de calentar el aparato, póngalo en cero.

c. La técnica de la Luz de Sol / Sombra se realiza cuando el sol se encuentra entre 20 y 80 grados sobre el horizonte (ni amanecer ni medio día). Se hace una sombra sobre la delineación a observar. Cuando la sombra toque la marca observe lo siguiente, que indicará si hay algún problema:

Barras alternantes brillantes, suaves u oscuras a través de la línea. Una línea mate indica distribución adecuada.

d. Otros métodos simples de asegurar una distribución adecuada es observar el soplete de salida de las microesferas de vidrio atrás de la máquina aplicadora. Si las microesferas de vidrio están rebotando fuera de la línea o si el soplete está pulsando, la línea deberá verse sucia o polvorienta. Si la línea brilla, podría indicar que las esferas se han hundido. Palpe una línea fría; debería ser áspera.

En la *Tabla 5* se ilustran los problemas, causas y solución en la aplicación de las microesferas de vidrio:

TABLA 5

GUÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMA EN LA APLICACIÓN DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO		
PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Concentración de microesferas de vidrio en un solo lado	Soplete de salida desalineado	Desarmar soplete Ajustar alineación de boca del mismo
Excesivo consumo de microesferas de vidrio	Gastada la boquilla del soplete de salida, asiento y orificio. Excesiva presión de aire	Reparar boquilla y disminuir la presión de aire
Concentración de microesferas de vidrio en el centro de la línea Termoplástica	Presión de aire muy baja. Aguja del soplete desajustada. Boca del soplete desalineada. Orificio del soplete muy grande.	Aumentar la presión de aire. Ajustar soplete. Alinear el deflector de la boca del soplete. Cambiar por un orificio menor la aguja del soplete.

CONTINUACIÓN TABLA 5		
PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Todas las microesferas de vidrio se hundieron	El soplete muy cerca del pavimento. Angulo del soplete incorrecto. Excesivo espesor de material termoplástico. Sobre calentamiento del material termoplástico	Ajustar altura del soplete. Ajustar ángulo del soplete. Controlar el espesor del material termoplástico. Regular la temperatura del material termoplástico.
Flotación de las microesferas de vidrio insuficiente	El soplete está muy lejos del pavimento.	Acercar el soplete.
Apariencia pulsante.	Presión de aire inadecuada. Obstrucción en el soplete por humedad excesiva en el depósito o basura.	Aumente la presión. Revise la humedad de las microesferas de vidrio. Revise la humedad del depósito. Cambiar trampas de agua del sistema.
Excesiva cantidad de microesferas de vidrio a los costados de la línea de termoplástico.	Soplete muy lejos del pavimento o boca del soplete muy abierta.	Bajar el soplete y/o regular el ancho de boca del mismo.

10. Apariencia final del termoplástico. La delineación del termoplástico deberá ser inspeccionada continuamente durante el proceso de aplicación, considerando los siguientes aspectos:

a. Se deberá observar que la línea contenga su espesor especificado en el contrato y uniformidad continua.

- b. Los bordes de los cortes deberán ser razonablemente uniformes.
- c. Los colores utilizados, blanco, amarillo, rojo o negro deberán aparecer distintamente. Suele suceder que cuando se cambia de color no se limpian adecuadamente los hornos y las primeras líneas del nuevo color salen manchadas.
- d. Las esferas de vidrio deberán ser distribuidas uniformemente sobre la superficie completa del material. Una sobre saturación de esferas de vidrio producirá una brillantez excesiva y una prematura abrasión al material.
- e. El termoplástico endurecido debe resistir deformaciones en el pavimento y saturación de suciedad, por el tráfico entre 2 a 10 minutos después de la aplicación.
- f. Cuando el material esté expuesto al contacto excesivo de diesel, grasas, derramamientos de cualquier otro tipo de combustibles, es conveniente utilizar termoplástico **Alkyd**.
- g. La línea deberá estar firmemente adherida a la superficie del pavimento. Si el termoplástico puede ser removido fácilmente del pavimento con la utilización de una espátula y si se observa muy poco o nada de contenido bituminoso del asfalto en la parte posterior del termoplástico cuando este es removido, se puede asumir que no hay suficiente adherencia en la parte extraída. Para chequear la adherencia en el concreto se puede utilizar una navaja o espátula con filo.

11. Período de observación del termoplástico. Después de concluido el trabajo solicitado por el contratista, se sugiere un período de 90 días de observación del material termoplástico aplicado antes de la aceptación final.

Durante este período, el material instalado dentro del contrato deberá ser garantizado por el subcontratista contra quebraduras o levantamiento prematuro del material, exceso

de agrietamiento, manchas en la pigmentación, decoloración, aceite contenido en el material, desgaste producido por el tráfico, pobre adherencia producida por el resultado del método de aplicación del material, pérdida de retroreflectividad.

No se garantizará cuando se compruebe que los defectos son debido a deficiencias en el asfalto, impurezas existentes en el pavimento en el momento en que se aplicó el material termoplástico o el uso inadecuado del material tales como el deterioro producido por un incendio o cualquier tipo de desgaste que no sea el producido por la rodadura de las llantas de los vehículos del tráfico normal para el que fue diseñada la carretera.

Durante este período de observación, el subcontratista deberá reponer todo el material que no haya sido instalado satisfactoriamente y que demuestre deficiencias según lo establecido en los párrafos anteriores.

El material termoplástico será garantizado por un período de dieciocho meses a partir de momento en que fue instalado y que es aproximadamente, el tiempo que el contratista garantiza generalmente la carretera según la Ley de Contrataciones del Estado. Durante este período, el flujo de tráfico deberá ser normal, es decir para el que fue diseñada la carretera, para poder determinar las condiciones de calidad del material.

G. Fallas en el termoplástico.

Once formas de fallas se pueden identificar en la aplicación de termoplásticos:

1. Ligazón. La destrucción parcial o total de la cinta debido a la falla causada por la pérdida de la adherencia al pavimento causadas por impurezas, exceso de polvo, utilización de sellador inadecuado, aplicación inadecuada del sellador, mezcla inadecuada

del material, humedad existente en el material o en el pavimento, temperatura del material o del clima muy baja, ver *Figura 7* y *Figura 8*.

FIGURA 7

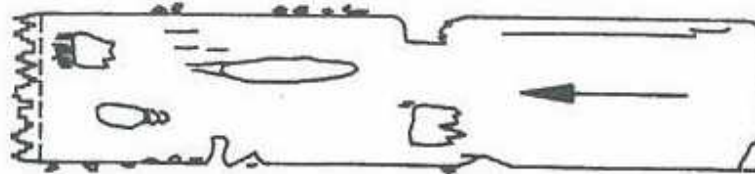
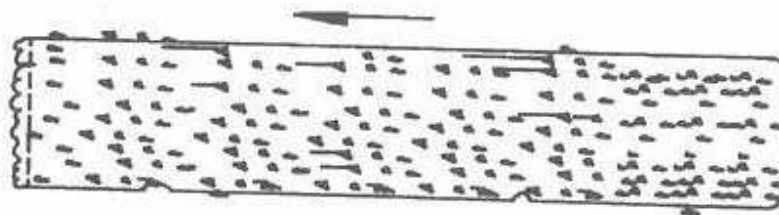


FIGURA 8

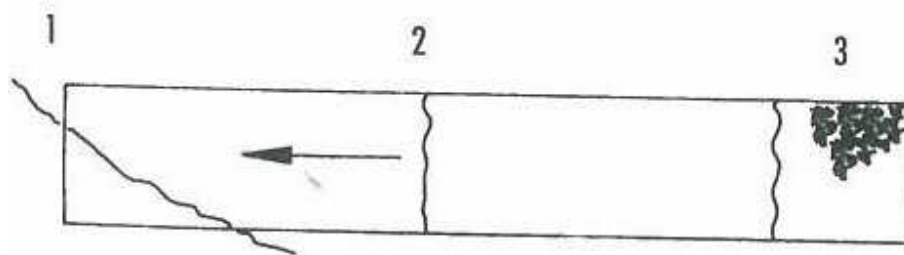


2. Desgaste. Este es un proceso natural gradual causado por la rodadura de las llantas del automóvil, el viento y la lluvia. El desgaste no está directamente relacionado con la forma de aplicación. Considerando que la vida útil de la cinta es proporcional a su espesor, mientras menos gruesa se especifique la línea lógicamente el desgaste reducirá su durabilidad.

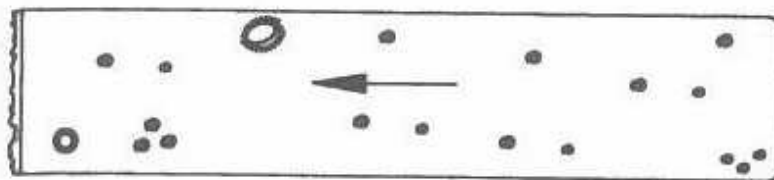
3. Raspadura. Este fenómeno generalmente sucede en áreas de derrumbes, donde se utiliza maquinaria pesada para mover el material derrumbado y pasan raspando la línea. Esto da como resultado un deterioro prematuro en la línea termoplástica.

4. Quebradura. La aparición de fisuras en la línea, puede ser causada por fisuras en el mismo asfalto o esfuerzos por temperatura. Si estas fisuras en el asfalto, no son muy grandes, no afectará la durabilidad del termoplástico. Si llegan a crecer mucho se infiltrará la humedad y quebrará todo el termoplástico **Figura 9 (1)**. Hay que hacer notar que ésta es una falla propiamente del pavimento. Si la línea de termoplástico se quiebra sin que se raje el pavimento, esto significa que el material a estado sometido a cambios extremos en la temperatura o estuvo sometido a un sobre calentamiento antes de ser aplicado **Figura 9 (2)**. La quebradura también puede ser el resultado de la aplicación del material por debajo de la temperatura especificada **Figura 9 (3)**.

FIGURA 9



5. Vejigatorio. Esto es causado por una cantidad excesiva de burbujas de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro sobre la superficie del material. Generalmente sucede cuando hay un sobrecalentamiento del termoplástico o queda atrapada agua o algún tipo de solvente durante la aplicación del material. El resultado es degradación física del material prematura **Figura 10**.

FIGURA 10

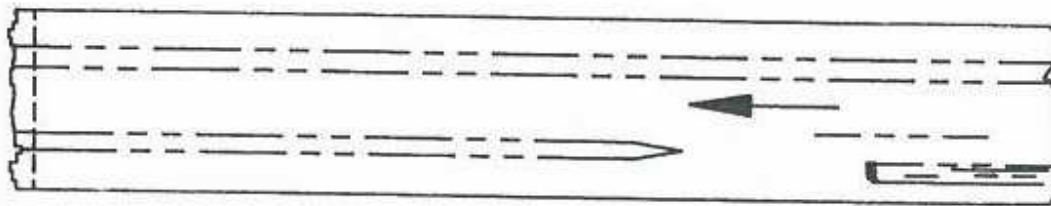
6. Espesor. Reducir el espesor del material de lo especificado en el contrato, reducirá la expectativa de vida del material y puede causar la pérdida prematura de adherencia y fallas en la retroreflectividad. La experiencia ha demostrado que aplicando el material a 90 milésimas de pulgada (2.3 mm) se optimiza la adherencia, la retroreflectividad, la visibilidad en la época lluviosa y la durabilidad. Si se aplica termoplástico sobre una línea existente para rectificar el espesor, se deberá remover la esfera de vidrio suelta para obtener una buena adherencia.

7. Retroreflectividad. Si el flujo de esferas es uniforme y aún así existe ausencia inicial en la retroreflectividad, esta falla puede ser causada por el sumergimiento parcial o total de la esfera debido a un sobrecalentamiento del material en el momento de ser aplicado. Otros factores que pueden afectar son la opacidad en el termoplástico, la insuficiencia en el porcentaje de esferas, pobreza en las características físicas de la esfera, graduación o suspensión inadecuada de las esferas.

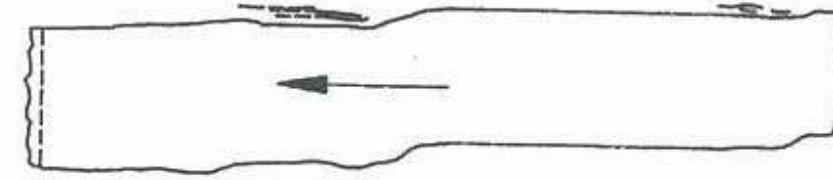
8. Sobrecalentamiento. Cuando la línea tiene demasiada curvatura, desgarras al final y se derraman las orillas es causado por un sobrecalentamiento en el Horno de Prederretimiento ver *Figura 11*.

FIGURA 11

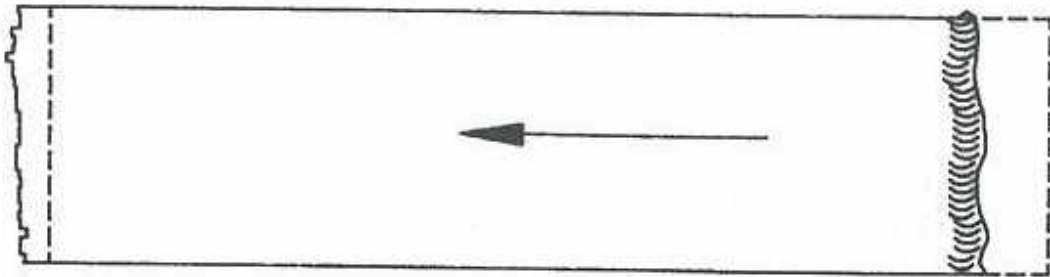
9. Rasgado interno. Cuando aparecen rasgados internos en la línea son causados por tapones en la salida del molde que generalmente son sólidos que se forman al calcinarse las esferas de vidrio en las paredes del horno. Cuando se realiza la limpieza de estas paredes, se recomienda tener mucho cuidado que el material calcinado no quede suelto dentro del horno pues contaminaría el material nuevo, causando este fenómeno *Figura 12.*

FIGURA 12

10. Línea oleada. Es causado por ondulaciones o deflexiones fuertes en el pavimento debido a la inexperiencia de operador o mal funcionamiento de la maquinaria, ver *Figura 13.*

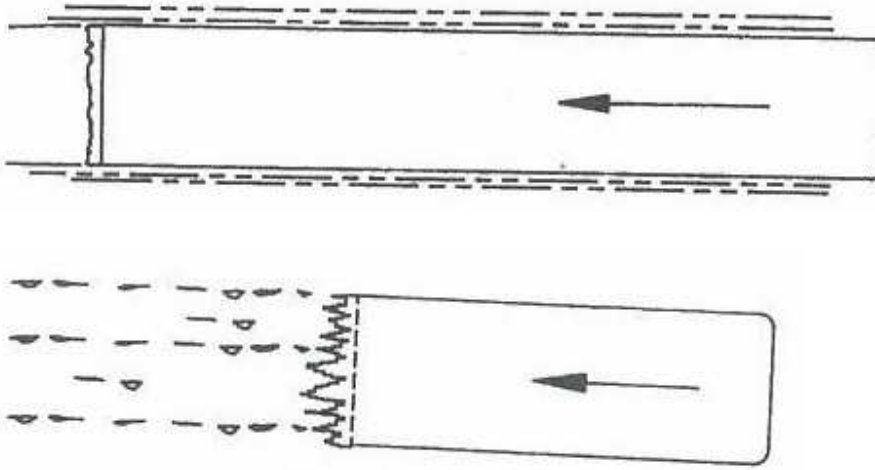
FIGURA 13

11. Protuberancia. Cuando se manifiestan bultos o protuberancias generalmente al principio de la aplicación de la línea, sucede cuando la temperatura del material termoplástico está muy baja, la velocidad de la máquina es muy alta o la temperatura del pavimento muy baja, ver *Figura 14*.

FIGURA 14

12. Sombras laterales, frontales o posteriores. Son residuos de material que caen fuera del límite de la línea causado por el mal funcionamiento del molde por falta de servicio de limpieza ya que deja sólidos atrapados o ajuste en el mecanismo de sierra ver *Figura 15*.

FIGURA 15



V. MAQUINARIA PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL

En la actualidad existen gran variedad en marcas y diseños de maquinaria para la aplicación del termoplástico y que cumplen con las especificaciones establecidas. A continuación se mencionan algunas de estas máquinas las cuales han sido diseñadas y construidas por la compañía *STIMSONITE Corporation* (antes *Pave Mark Corporation*), siendo ésta una de las pionera en este campo y la que, a criterio de los expertos, es la que posee la mejor tecnología, lo que la hace hoy en día el líder del mercado en lo que a termoplástico se refiere.

Pave Mark se ha especializado en la aplicación de termoplástico en caliente desde el año 1957, cuando el termoplástico dio por primera vez indicaciones de una nueva era en lo que a señalización de carreteras se refiere por la eficiencia y seguridad que provee. En la actualidad *Pave Mark*, hoy *STIMSONITE*, es la fábrica más grande del mundo de termoplástico y maquinaria para su aplicación.

A. Sistema apollo serie II.

La máquina **Apollo II** clasificada como portátil y diseñada dentro de un sistema que permite una rápida familiarización con el usuario para poder producir líneas de una forma profesional en pocos minutos de uso, sin necesidad de mayor adiestramiento. Es por eso que es conocida como la máquina más amigable en el área del termoplástico.

Su diseño manual hace que le permita a un solo operador, transportar, derretir y aplicar termoplástico en el pavimento de una forma comfortable agilizando su trabajo

basado en su habilidad personal y a la vez de poder darle un mantenimiento sencillo a bajo costo.

Diseñada para trabajar con o sin un sistema independiente de hornos para prederretir el material, *Fotografía 8* y *Fotografía 9*, **La Apollo II** es la primera máquina inventada para la aplicación del termoplástico y por la simpleza en su diseño sigue siendo un gran instrumento de trabajo en la actualidad con las siguientes cualidades:

- No posee compresor de aire, ni sistema hidráulico para poder ser operada por lo que no necesita ningún tipo de motor para accionarse.
- El mantenimiento prácticamente se limita a mantener el eje de rodadura lubricado, el horno y accesorios del sistema de calentamiento (a base de gas propano) limpios.
- Es una máquina muy compacta de aluminio con su peso balanceado y liviano, 250 libras de peso vacía, mas un máximo de 250 libras de capacidad de material en los hornos, para que la fuerza que utiliza el operador sea mínima para producir su locomoción y facilidad para maniobrar.
- No produce ningún tipo de contaminación ambiental, inclusive su sistema de operación es silencioso.
- El sistema más preciso de control de temperatura y aplicación.
- Facilidad para cambiar color.
- Control de velocidad y freno.
- Un bajo capital de inversión.

FOTOGRAFÍA 8

APOLLO II (Sin horno Plus 1)



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 9

APOLLO II PLUS1 (Con Horno Plus 1)



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

La *Fotografía 10* muestra a la *Apollo II Plus1* trabajando letras con un solo operador y con su propio horno de prederretimiento incorporado.

En la *Fotografía 11* se muestran los hornos de prederretimiento auxiliares. Si se auxilia el trabajo con estos hornos se podrá multiplicar el rendimiento hasta donde sea necesario incrementando el número de “Apollos”.

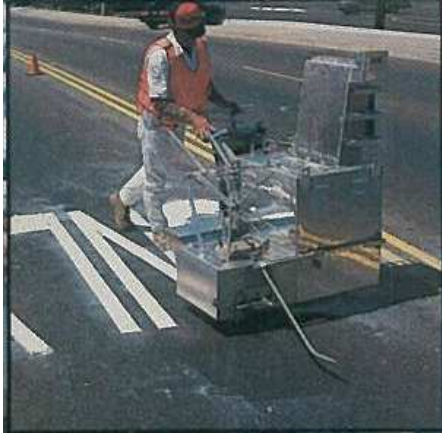
En la *Fotografía 12* se muestra a La Apollo realizando trabajos en Guatemala.

La Apollo II está diseñada para realizar cualquier tipo de señalización en pavimento, como líneas, flechas, pasos peatonales, letras, “escaleras”, “sargentos”, instalación de marcadores de pavimento etc.

Su limitación principal y puede considerarse relativa, es que su rendimiento de 700 pies cuadrados (65 m²) por día es inferior al de los otros sistemas diseñados para aplicar termoplástico. Las *Fotografías 13 y 14* muestran maquinas similares a *La Apollo Plus 1* construidas por otras empresas.

FOTOGRAFÍA 10

OPERANDO APOLO II



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 11

HORNOS AUXILIARES INDEPENDIENTES



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 12

APOLLO II DELINEANDO CALLE PRINCIPAL DE INGRESO A COATEPEQUE



FOTOGRAFÍA 13

LA GM201SR ES UNA MÁQUINA CON LOS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO SIMILARES A LA APOLO II PLUS 1. TIENE EL INCONVENIENTE QUE ES MÁS PESADA, LA TEMPERATURA DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO BAJA MÁS RÁPIDO AL MOMENTO DE SALIR DEL HORNO PRINCIPAL Y NO POSEE HORNO AUXILIAR INCORPORADO



(FUENTE *Line Master engineering, Inc.*)

Para su transportación, a la **Apollo II**, se le diseñó un remolque con rampa manual y liviana, fácil de enganchar en la parte posterior de un vehículo liviano. Adicionalmente posee un polipasto, para que una sola persona pueda cargarla y descargarla del remolque.

Tanto su estructura como los hornos son de aluminio (**Glosario 15**) lo que la hace una máquina liviana para su operación

El sistema de calentamiento para los hornos, utiliza como combustible gas propano almacenado en un cilindro comercial de 25 libras. El piloto de encendido es seguro con sus respectivos reguladores. Posee tres hornos para su calentamiento:

- El horno principal, que posee dos quemadores con suficiente capacidad para derretir 200 libras (90.72 Kg.) de material en un tiempo aproximado de 90 minutos,

mantenerlo a una temperatura de 420 °F (216 °C) mínima con su respectivo termostato y regulador para poder controlarla.

- El horno auxiliar “**PLUS 1**”, que posee dos quemadores laterales con capacidad de derretir 50 libras (23 Kg.) de material sólido (“block”) en un tiempo aproximado de 30 minutos. Este material derretido va cayendo derretido en el horno principal paralelamente en el momento en que la máquina está aplicando el material en el pavimento, con la idea de mantenerla abastecida durante el tiempo de trabajo. La experiencia demuestra que la velocidad de aplicación del material es superior a la del abastecimiento a través de este horno en la mayoría de los casos. Para solventar este problema, se puede utilizar hornos independientes auxiliares, que pueden variar su capacidad e incrementaría su rendimiento diario de 700 a 1,500 pies cuadrados (65 a 139 m²), ver *Fotografía 11*.

- El tercero y último horno, es de porcelana que transmite el calor de forma radiante sobre la superficie del ducto de salida de la máquina a la vez de mantener el molde de aplicación lo suficientemente caliente para que la pérdida de temperatura del material termoplástico sea mínima en su recorrido, antes de ser aplicado en el pavimento.

El material se deberá agitar manualmente periódicamente (cada 5 minutos aproximadamente) mientras se lleva a cabo el trabajo, cuyo sistema viene incorporado a la máquina y es muy fácil de utilizar. El proceso de agitación se deberá iniciar cuando el material haya alcanzado la temperatura de 350°F (177 °C) y teniendo el cuidado de no forzar en exceso la palanca para no romperla.

Un depósito especial de esferas de vidrio viene instalado en la máquina con un rodillo especial que se acciona a través de una cadena al estar la máquina en movimiento,

que permite que una película adicional caiga sobre la línea por gravedad inmediatamente de ser esta aplicada sobre el pavimento.

El operador maneja únicamente dos palancas en el momento de estar aplicando el material:

- La primera abre y cierra el flujo de material termoplástico que sale del horno principal hacia el molde de aplicación para controlar cuando éste se haya llenado y no se rebalse del mismo.
- La segunda levanta y baja el molde del contacto con el pavimento a la vez que cierra y abre la salida del material del molde hacia el pavimento. La mano derecha se utiliza para maniobrar estas palancas y la izquierda para empujar la máquina. Estos moldes son de material de tungsteno (**Glosario 16**), son fáciles de cambiar y vienen en medidas de 4" (10 cm.), 6" (15 cm.), 8" (20 cm.) y 12" (30 cm.).

Cuando se termina el trabajo, el material sobrante en depósito de la máquina, deberá ser depositado en una caja especial de cartón cubierta con una película de cera en su interior (puede utilizarse el empaque original del material en sólido) o metálica para que el material no se pegue a la misma y pueda ser reutilizado posteriormente en otro día de trabajo.

La forma adecuada para limpiar los moldes, es al final del día de trabajo, cuando estos aún están calientes utilizando para ello una espátula metálica de 4" y quedarán listos en 5 minutos para un nuevo día de trabajo.

En la **Figura 16** se muestra el proceso de derretimiento y aplicación del material termoplástico en la **Apollo Serie II**.

La **Fotografía 15** muestra los accesorios y las aplicaciones de la **Apollo Serie II**.

FIGURA 16

Apollo Series II

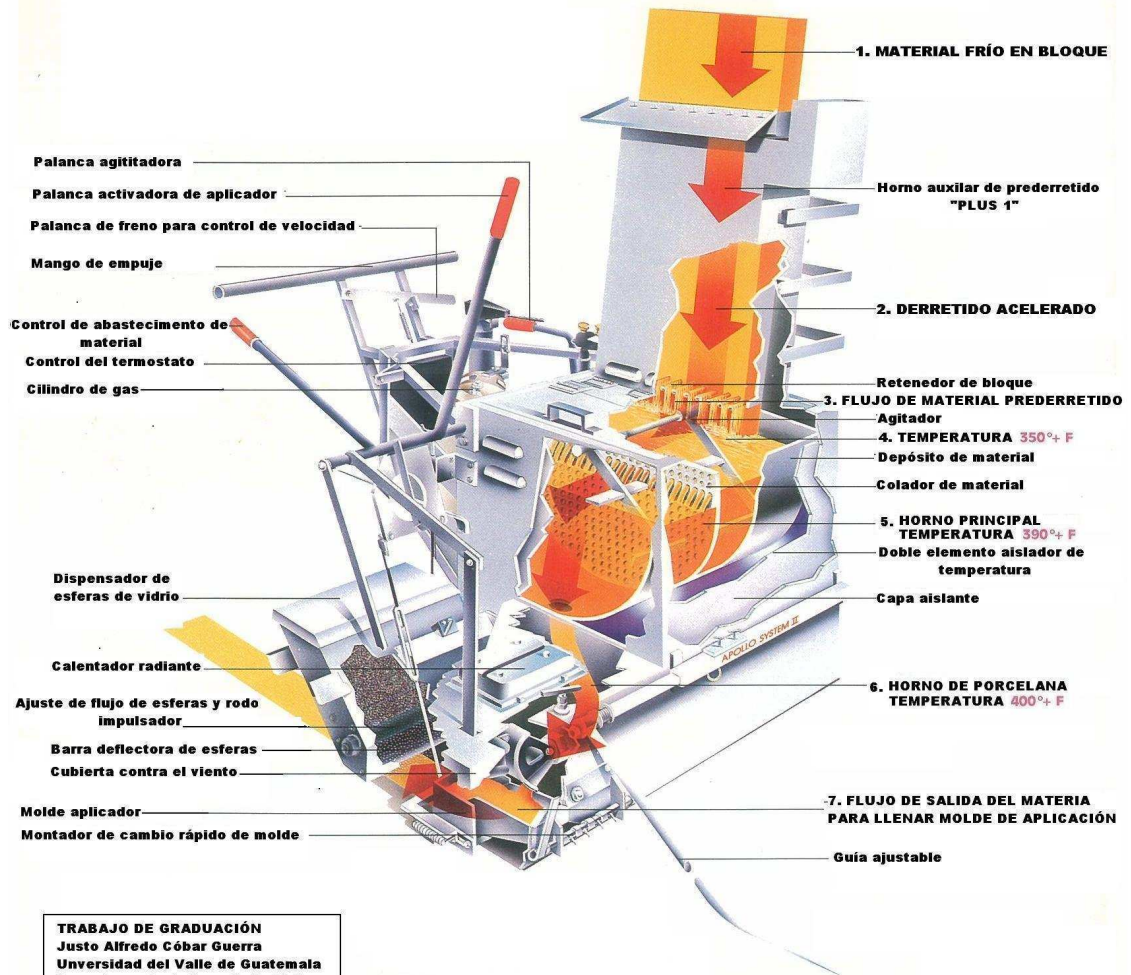
Máquina aplicadora de termoplástico

Sistema manual y económico
Fabricado por STIMSONITE CORPORATION

Diseñado para trabajar con o sin horno auxiliar para prederretir el material

Su uso es ilimitado en la señalización horizontal:

- Flechas
- Pasos Peatonales
- Sargentos
- Líneas de 4" a 12"
- Instalación de marcadores de pavimento



TRABAJO DE GRADUACIÓN
Justo Alfredo Cobar Guerra
Universidad del Valle de Guatemala
Departamento de Ingeniería Civil

FUENTE: Pave Mark CORPORATION

Apollo Series II

FOTOGRAFÍA 15



El sistema utilizado por la "APOLLO II PLUS 1", puede instalar mas de 1500 pies cuadrados de delineación termoplástica por día sin la ayuda de un horno de prederretimiento por separado.

Con la ayuda de un horno "PLUS 1" incorporado a la máquina le permite una alimentación continua de material.

Con el termostato controlador, la temperatura del material puede ser ajustable.

El carro transportador de la "APOLLO II PLUS 1", permite que la máquina pueda ser transportada con los hornos encendidos con toda seguridad.



El sistema de termostato controlador del horno de la APOLLO II, es el único capaz de aplicar material a una temperatura constante sin la ayuda del horno "PLUS 1" y derretirlo simultáneamente. Puede derretir 700 pies cuadrados por día.

El termostato controlador del horno principal permite ajustar la temperatura.

La APOLLO II puede ser utilizada con la ayuda o sin la ayuda de un horno de prederretimiento por separado.

El horno "PLUS 1" puede montarse y desmontarse en menos de 3 minutos.



La APOLLO II es la máquina mas económica ya que utiliza tecnología simple para la aplicación profesional del material termoplástico. Tiene la capacidad de mantener 300 libras de material derretido. Con el apoyo de hornos auxiliares de prederretimiento montados en un camión, puede multiplicar su eficiencia tanto como se desee. Este sistema tiene la particularidad de permitir que crezca tanto como las necesidades de demanda lo soliciten.



TRABAJO DE GRADUACIÓN
Justo Alfredo Cobos Guerra
Universidad del Valle de Guacacema
Departamento de Ingeniería Civil

FUENTE: Pave Mark CORPORATION

B. Sistema Titán II.

Las siguientes especificaciones definen las características de una máquina aplicadora de termoplástico impulsada por un sistema automático mecánico. El sistema está diseñado para poder adaptar los siguientes dispositivos con relativa facilidad:

1. Sistema de expulsión con molde.
 2. Sistema de expulsión con listón.
 3. Sistema de expulsión Aqualite (Se verá en el Capítulo VII).
 4. Sistema aerosol (“spray”).
- **El chasis** está construido con tubo rectangular de acero (**Glosario 17**) de 1 ½ pulgadas por 2 ½ pulgadas por ¼ de pulgada (3.81 cm. x 6.25 cm. x 0.635 cm.) con suficiente volumen interior de la estructura para servir como depósito de reserva de aire comprimido del sistema del compresor.
 - **El motor FORD** de 44.6 caballos de fuerza utiliza como combustible gas propano o diesel con estárter eléctrico.
 - **El sistema de conducción** con un motor de alta durabilidad accionado por una transmisión hidrostática. Utiliza un sistema variable gradual de velocidad con reversa y directa alcanzando una velocidad máxima de 9 MPH (14 Km. por hora) con un pedal de pie de control doble, que también sirve como el sistema principal de freno.
 - **El sistema de dirección** delantera está conectada a un sistema hidráulico automático alimentado por el sistema hidrostático que da la capacidad de maniobrar cómodamente la máquina para dirigir la guía. Las llantas que utiliza son de 8 pulgadas

de diámetro (20.32 cm.). El operador puede utilizar el timón tanto del lado derecho o izquierdo del aplicador ya que es transferible.

- **El sistema de frenos** es accionado por un disco conectado al eje trasero de la máquina activado por el sistema hidráulico el cual se accionará si el sistema pierde la presión hidráulica o falla el sistema eléctrico. Tiene el inconveniente que requiere de un constante mantenimiento y revisión pues el disco tiende a aflojarse y las pastillas que lo accionan deben estar limpias de aceites y grasas pues esto reduce su capacidad de fricción.

- **El sistema eléctrico** está compuesto por una batería de 12 VDC con un alternador de 35 amperios como mínimo.

- **El panel de control** es metálico de color negro anodizado, impermeable y de cómodo alcance para el operador. El asiento es ajustable a la comodidad del operador.

- **La guía** a pesar de ser un sistema manual compuesto de una barra telescópica de 8 pies (2.44 m) de largo y ajustable para la vista y la comodidad del operador, es lo suficientemente precisa y aceptable para seguir el premarcaje.

- **El sistema de seguridad** para control de tráfico consiste en una luz intermitente que viene instalada en la parte posterior de la máquina para la visibilidad de los vehículos que circulan. Para el sistema de seguridad del gas propano existen unas llaves de bola para ser cerradas y suspender el flujo de gas en cualquier momento de emergencia, complementado por un extintor.

- **El combustible** tanto para la locomoción como para precalentamiento de hornos puede disponerse de gas propano y diesel, siendo esta última de gran aceptación por la facilidad de abastecimiento, además de su facilidad en mantenimiento y el

precalentamiento es más rápido ya que en media hora la máquina está lista para ser operada. Sin embargo, la de gas propano es más económica en lo que a rendimiento se refiere. Este sistema utiliza dos cilindros de 40 libras (18.14 Kg.) montados en la parte posterior.

- **El sistema hidráulico** Se encuentra dividido en dos sistemas básicos:
 - El hidrostático de conducción.
 - Los auxiliares que accionan los “sin fines” que empujan el material en los brazos de salida, las paletas agitadoras del horno principal, el sistema hidráulico del timón y el sistema de freno.
- **El sistema de distribución del termoplástico** está conformado por los siguientes accesorios:
 - **El depósito temporal de termoplástico** construido de acero, no es recomendable que trabaje bajo presión por razones fundamentalmente de seguridad. Posee un encamizamiento de aceite de transferencia para transmitir el calor con la finalidad de mantenimiento, no derretimiento. Es indispensable para el funcionamiento de la **Titán II** la utilización de hornos de prederretimiento auxiliares independientes. Para calentar el aceite de transferencia se podrá utilizar como combustible diesel o gas propano con una presión de salida de aproximadamente 200,000 BTU/HR (*Glosario 18*). La capacidad del depósito deberá ser de aproximadamente 67 galones (254 litros) o 1,000 libras (454 Kg.) de material. Para mantener el calor uniforme y evitar sedimentos o calcinamiento del mismo, se utilizan las paletas agitadoras de acero dentro del horno, las cuales son impulsadas por el sistema auxiliar hidráulico el cual deberá tener la capacidad de regular su velocidad.

- **El sistema de conducción del material** deberá ser instalado del depósito del material hacia los mecanismos dispensadores. Esto significa que a todo su recorrido, los ductos, deberán también poseer un encamizamiento con un flujo constante de aceite de transferencia ayudados por una bomba auxiliar para que el material no pierda su temperatura a lo largo de su recorrido.

- **Los dispositivos dispensadores del material** estarán instalados a ambos lados de la máquina. En el lado izquierdo se pueden instalar dos para poder aplicar línea doble simultáneamente cuando esto sea solicitado y podrán ser de tres clases:

1) **Molde por expulsión:** puede ser de 4 pulgadas (10 cm.). Hechos de material de la aleación del tungsteno (**Glosario 16**) con el acero (**Glosario 17**).

2) **Pistola por expulsión de listón:** Prevista de dos moldes ajustables para diámetros de 4 a 12 pulgadas (10 a 30 cm.).

3) **Pistola de aerosol:** No es recomendable porque necesita que el horno trabaje a presión. Es poco práctico y peligroso poner a trabajar el horno de la Titán II a presión por su diseño.

- **El compresor de aire** es capaz de abastecer un máximo de 30 pies cúbicos (0.85 m³) por minuto a 100 psi. Este está diseñado con dos pistones cilíndricos con la presión lubricada automáticamente.

- **El sistema de circulación del aceite de transferencia** consiste en una bomba de engranaje mecánico con la capacidad de 3 gpm. (**Glosario 19**) a 1800 r.p.m. (**Glosario 20**) provee una circulación de aceite caliente al conducto multiplicador y el sistema distribuidor.

- **El velocímetro y el mecanismo intermitente de tiempo para programar ciclo de línea** es automático, ajustable, sólido y resistente al agua.

- **El sistema de aplicación de micro esferas de vidrio** consiste en un tanque sometido a una presión de 25 a 30 libra por pulgada (1.74 Kg/cm³) cuadrada en condiciones normales con una capacidad aproximada de 240 libras (109 Kg.) de material conectado a tres sistemas de aplicadores de esferas.

- **El sistema de iluminación** está provista de lámparas alógenas de cuarzo para iluminar la guía y los distintos dispensadores.

- **El remolque transportador** está construido de acero. Actualmente diseñada con tres ejes con una capacidad de carga de 6,000 libras (2722 Kg.) y un sistema automático hidráulico para su carga y descarga. Puede ser jalado sin ningún problema por un Pick up de 8 cilindros, ver *Fotografía 16*.

La *Fotografía 17* muestra la primera **Titán II** construida.

Las *Fotografías 18, 19, 20, 21, 22 y 23* muestran el abastecimiento de termoplástico a la **Titán II** de de los hornos de prederretimiento.

FOTOGRAFÍA 16

LA TITÁN II REMOLCADA POR UN PICK UP CHEVROLLET DE 8 CILINDROS



FOTOGRAFÍA 17

TITÁN II



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 18

ABASTECIMIENTO TITÁN II, PROYECTO 4 CAMINOS-QUICHÉ



FOTOGRAFÍA 19

TITÁN II ABASTECIÉNDOSE DE TERMOPLÁSTICO EN EL PROYECTO ESCUINTLA – PUERTO QUETZAL.



FOTOGRAFÍA 20



FOTOGRAFÍA 21



FOTOGRAFÍA 22



FOTOGRAFÍA 23



ABASTECIENDO LA TITÁN II DEL HORNO DE PREDERRETIMIENTO

La Fotografía 24 muestra a la segunda **Titán II** construida aplicando material termoplástico en Escuintla-Puerto Quetzal. El proyecto es de pavimento de concreto, no hubo necesidad de utilizar ningún tipo de sellador ya que el agua de lluvia disolvió los agentes de antisol utilizados en la construcción. Los productos de antisol que se utilizan en los pavimentos de concreto son repelentes al termoplástico lo que evita una adecuada adherencia entre ambos. También se puede observar que la sisa central del pavimento, quedó apropósito fuera de la delineación para evitar que el termoplástico de raje debido a los cambios de temperatura.

Las Fotografías 25, 26 y 27 muestran el equipo de señalización conformado por el remolque de la **Titán II**, El “pick up” jalador y el camión *Mitsubishi* de 3.5 toneladas con su horno de prederretimiento de 1500 Lb. (680 Kg.) en distintos proyectos realizados en Guatemala. Se puede observar en la *Figura 27* que se ha sumado un camión *Hino* de 10 Toneladas más con un horno de prederretimiento de 2000 Lb. (907 Kg.) con la finalidad

de incrementar el rendimiento del trabajo. Con esta maquinaria se podrá mantener un promedio de 8,000 a 10,000 m (26,247 a 32,808 pies) m diarios de línea de 10 cm. de ancho diario.

La *Fotografía 28* muestra el trabajo de delineación de termoplástico sobre un pavimento de adoquín realizado por la **Titán II**.

La *Fotografía 29* muestra el trabajo de delineación de termoplástico sobre un pavimento de concreto realizando doble línea por la Titán II.

FOTOGRAFÍA 24

TITÁN II APLICANDO LA LÍNEA CENTRAL TERMOPLÁSTICA EN EL PROYECTO ESCUINTLA – PUERTO QUETZAL.



FOTOGRAFÍA 25

EQUIPO DE SEÑALIZACIÓN EN EL PROYECTO ESCUINTLA – PUERTO QUETZAL



FOTOGRAFÍA 26

EQUIPO DE SEÑALIZACIÓN EN EL PROYECTO MOYUTA JUTIAPA



FOTOGRAFÍA 27

EQUIPO DE SEÑALIZACIÓN EN EL PROYECTO SOLOLÁ



FOTOGRAFÍA 28

SEÑALIZACIÓN DE TERMOPLÁSTICO EN PAVIMENTO DE ADOQUÍN PROYECTO GUASTATOYA



FOTOGRAFÍA 29

TERMOPLÁSTICO CON DOBLE LÍNEA EN PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PROYECTO
GUASTATOYA



C. Sistema hércules.

Es la máquina considerada con mayor avance tecnológico del mundo. Fue construida y es utilizada por los fabricantes para proyectos de larga magnitud utilizando un sistema para que derrita y aplique el material en una sola máquina utilizando un camión adaptado para el propósito. Esto elimina el inconveniente de tener que invertir y utilizar vehículos separados para prederretir el material. *La Fotografía 30* muestra El **Hércules** delineando con línea blanca del lado izquierdo y **Aqualite** del lado derecho simultáneamente.

El Hércules puede trabajar de igual forma en ciudades con un tráfico denso como en autopistas o carretera abiertas. Tiene la opción de poseer dos sistemas de guía para el operador:

FOTOGRAFÍA 30**HÉRCULES APLICANDO LINEA Y Aqualite EN ÁREA URBANA**

(FUENTE *PAVEMARK CORPORATION*)

El tradicional es una rueda que se encuentra en la parte inferior frontal del camión, que puede ser fácilmente desmontada y accionada por un sistema hidráulico para su utilización.

La utilización a través de un circuito cerrado de video que proporciona una gran precisión y facilidad para la maniobrabilidad del camión.

El Hércules utiliza un sistema cerrado de rápida alimentación del material que puede ser utilizado en cualquiera de los tres sistemas básicos de aplicación: molde, listón y spray o aerosol y es capaz de aplicar simultáneamente diferentes diseños de materiales termoplásticos o de línea. Ejemplo: El lado izquierdo puede estar aplicando el sistema **Aqualite** (Capítulo VII), mientras que el derecho aplica spray a 60 milésimas de pulgada

(1.6 mm.) de espesor. En general se puede observar que hay una variedad de opciones que se pueden considerar disponibles para ser utilizadas en los distintos métodos de aplicación que desee el operador.

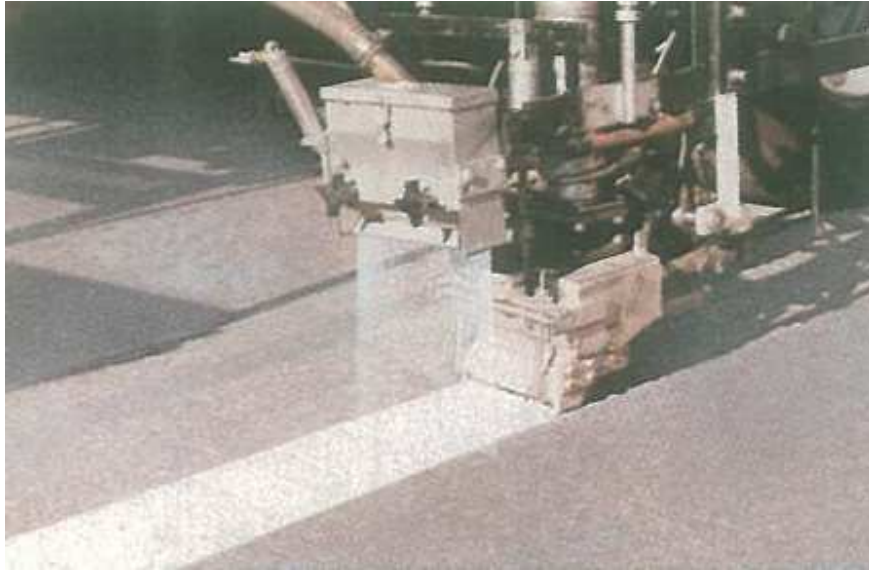
La productividad diaria depende de la capacidad de la máquina de derretir el material. El Hércules está diseñado para auto alimentar dos hornos interconectados, basados en el principio que el primero será el que posea el material derretido preparado para ser aplicado, el segundo será el horno que se estará continuamente alimentando de material crudo y en proceso de derretimiento. Se puede utilizar dos hornos de 2,500 libras (1134 Kg.) de capacidad cada uno o para un mejor rendimiento puede llegarse a interconectar tres hornos con una capacidad total de 6,000, 8000 y hasta 10,000 libras en proceso (2,722, 3629 y 4536 Kg).

Se encuentran disponibles los siguientes métodos de aplicación:

- Moldes uno y dos colores. (**Fotografía 31**).
- Spray uno y dos colores. (**Fotografía 32**).
- Listón uno y dos colores.
- La combinación de los sistemas de arriba.

FOTOGRAFÍA 31

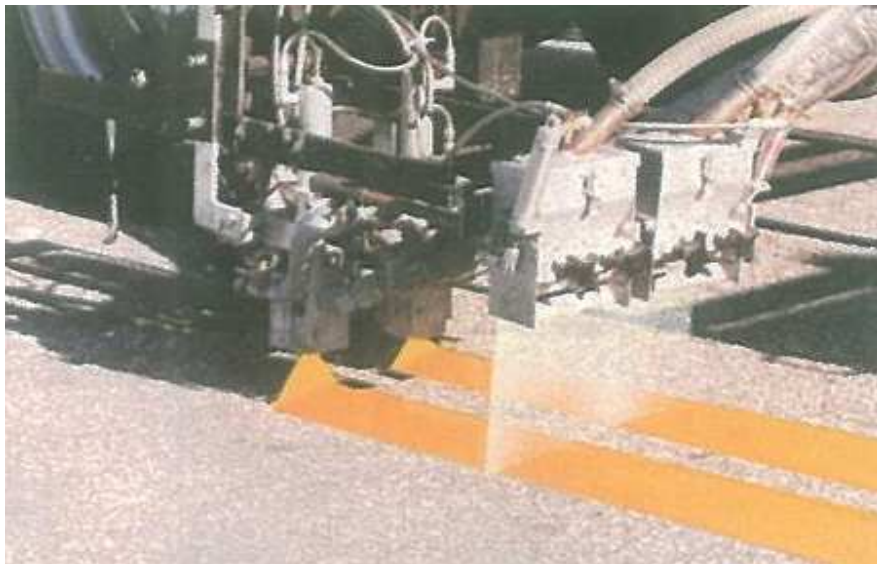
HÉRCULES APLICANDO LÍNEA CENTRAL EN ÁREA URBANA



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 32

HÉRCULES APLICANDO DOBLE LÍNEA CENTRAL EN ÁREA URBANA



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

D. Horno de prederretimiento.

Es la intención describir a través de este capítulo los requerimientos mínimos de los hornos de prederretimiento, los cuales son utilizados para derretir el termoplástico, ya sea granulado o en bloque, antes de ser abastecido hacia la máquina aplicadora. Su eficiencia en el tiempo y la calidad de derretir el material es el primer paso para lograr un buen rendimiento en el trabajo diario.

La **Tabla 6** muestra la clasificación de los distintos tipos de hornos que se encuentran en el mercado:

TABLA 6

Capacidad de material	Altura de salida de alimentación	Diámetro exterior	BTU Min.
600 Lb. (272 Kg.)	38 pulgadas (97 cm.)	35 pulgadas (89 cm.)	140,000
1200 Lb. (544 Kg.)	53 pulgadas (135 cm.)	40 pulgadas (102 cm.)	275,000
1500 Lb. (680 Kg.)	59 pulgadas (150 cm.)	40 pulgadas (102 cm.)	290,000
2000 Lb. (907 Kg.)	70 pulgadas (97 cm.)	40 pulgadas (102 cm.)	340,000
2500 Lb. (1,134 Kg.) Kg.)	72 pulgadas (97 cm.)	42 pulgadas (107 cm.)	375,000

- **Proceso de derretimiento.** Los hornos tienen la capacidad de derretir dos tercios del material cuando estos se encuentran llenos a una temperatura arriba de 400 °F (204 °C) durante un tiempo de 75 minutos de su calentamiento inicial. Puede continuar

derritiendo material mientras el camión se está trasladando a los distintos puntos de trabajo.

- **Tanque de calentamiento del material.** Conformado por un cilindro de acero de doble pared construido herméticamente incrustado dentro de otro que funciona como forro exterior, El cilindro se monta verticalmente, cuyas paredes son de un espesor de 3/16 de pulgada (0.48 cm.) para el interior y 1/8 de pulgada (0.32 cm.) para el exterior. La base y la tapadera es de 3/8 de pulgada (0.95 cm.) de espesor para ambos cilindros. El espaciamiento entre las dos paredes del cilindro interior será de 1 pulgada (2.54 cm.) en las paredes verticales y 3 pulgadas (7.62 cm.) en la base y la tapadera superior. El espacio entre estas paredes irá lleno de aceite de transferencia de calor con la finalidad de que la llama no haga contacto directo con el depósito donde se encuentra el termoplástico y de esta forma se evita que se calcine.

- **Diseño exterior.** El forro de la pared exterior que rodea al cilindro esta conformado por acero de 3/16 de pulgada (0.48 cm.) cuidadosamente unido con soldadura, trabaja como aislante para maximizar la eficiencia del calor y proveer seguridad al personal que lo trabaja.

Dos chimeneas, de por lo menos, 18 pulgadas (46 cm.) se encuentran en ambos lados de los hornos en la parte superior para evacuar los vapores generados por el calentamiento del material. Un tubo adicional se colocará en la parte posterior de la puerta de alimentación del horno para evacuar los gases generados por los quemadores de gas propano.

Medidores para la temperatura tanto del aceite de transferencia como el termoplástico deberán ir visiblemente colocados en la parte frontal del horno.

El forro de los hornos será cubierto con pintura plateada resistente a altas temperaturas.

En la *Figura 18* se muestran las distintas partes que conforma el horno de prederretimiento las cuales se enumeran en la *Tabla 7*.

La *Fotografía 33* muestra dos hornos de material termoplástico.

La *Fotografía 34* muestra el abastecimiento de los hornos de prederretimiento.

FIGURA 18

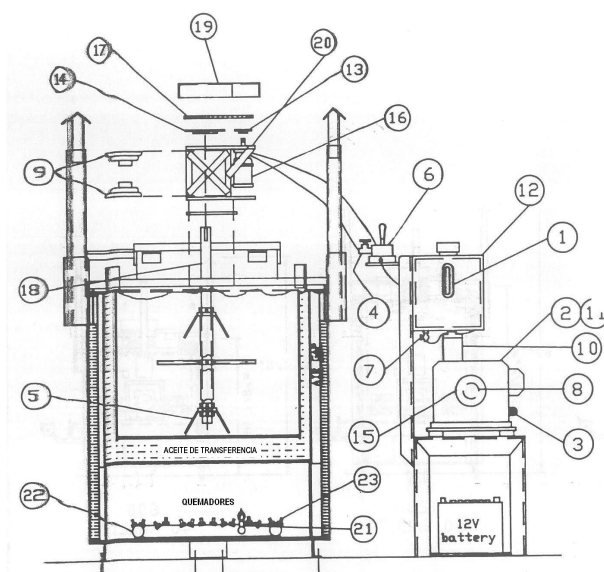


TABLA 7

FIGURA	DESCRIPCIÓN DE PARTE
1	Ventana para medir aceite hidráulico.
2	Motor estacionario de 8.5 HP para accionar sistema de paletas por medio de un sistema hidráulico.
3	“Estárter” de motor estacionario.
4	Válvula para graduar velocidad del sistema de paletas.
5	Sistema de paletas agitadoras.
6	Palanca para invertir sentido de paletas. Válvula de ½ pulgada (1.27 cm.)
7	Drenaje de caja de aceite hidráulico de ½ pulgada (1.27 cm.)
8	Enganche.
9	Cojinete de 1 ½ pulgadas (3.81 cm.) RCJT.
10	Filtro hidráulico.
11	Carburador del motor estacionario
12	Depósito de aceite hidráulico.
13	Engranaje OS15 (Rueda de cadena) de 1 pulgada (2.54 cm.).
14	Engranaje OS30 (Rueda de cadena) de 1 ½ pulgada (3.81 cm.).

CONTINUACIÓN TABLA 7	
FIGURA	DESCRIPCIÓN DE PARTE
15	Bomba hidráulica.
16	Motor hidráulico.
17	Cadena.
18	Eje del sistema de paletas agitadoras.
19	Guarda cadena.
20	Plato superior del cojinete del eje.
21	Piloto del horno del sistema de gas propano.
22	Quemadores del horno del sistema del gas propano X88, X44 (serie 600).
23	Mechero para los quemadores.

FOTOGRAFÍA 33

HORNOS DE PREDERRETIMIENTO DE MATERIAL TERMOPLÁSTICO



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 34

ABASTECIENDO HORNOS DE PREDERRETIMIENTO CON MATERIAL TERMOPLÁSTICO GRANULADO



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

E. Maquinaria para aplicación de “HoTape”.

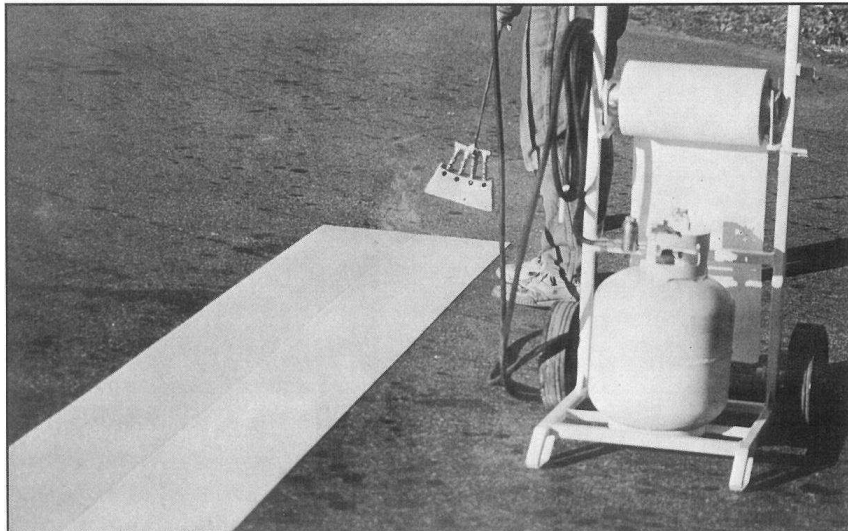
Los pasos para la instalación del **HoTape** son:

- Limpieza de la superficie (*Fotografía 36*).
- Precalentamiento del área donde se va a aplicar el material con un mechero de gas propano (*Fotografía 35 y 37*).
- Colocar y calentar con el mechero el HoTape sobre el pavimento evitando que no se calcine (*Fotografía 38*).

La *Fotografía 39* muestra una flecha de HoTape.

FOTOGRAFÍA 35

APLICANDO CALOR A UN CINTA DE HoTape CON UN MECHERO DE GAS PROPANO



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 36

**PRECALENTAR EL PAVIMENTO ES
ESENCIAL ANTES DE COLOCAR
EL HoTape**



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 38

CALENTANDO EL HoTape PARA LOGRAR



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 37

**MANTENER LA TEMPERATURA PARA
GARANTIZAR LA DURABILIDAD DEL
HoTape**



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 39

FLECHA DE HoTape ADHERENCIA AL PAVIMENTO



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

F. Borradora de termoplástico.

La borradora de termoplástico **PM ERASER** fue diseñada exclusivamente para remover la línea permanente de termoplástico. Los beneficios que se obtienen con el uso de esta máquina son:

1. Reduce el costo de mano de obra al acelerar el trabajo. Remueve aproximadamente 1,000 a 3,000 pies (305 a 914 m) lineales por hora.
2. Remueve las líneas limpiamente con un mínimo de abrasión sin hacerle daño a la superficie del pavimento.
3. Confortable con su peso de 256 Lb. (116 Kg.) es una máquina liviana, segura, silenciosa, diseñada para ser operada por una sola persona.
4. Remueve el material termoplástico en una sola pasada.
5. La palanca de conducción ajustable, con disponibilidad de freno de parqueo, “shock” antivibración.
6. Los anillos de corte son de la aleación del acero con el tungsteno lo que los hace sumamente durables. Está calculado para que duren 20,000 pies (6,096 m) lineales antes de remplazarlos.
7. Se encuentra disponible para combustible de gasolina, diesel, aire comprimido y eléctrico.

En **Fotografía 40** se muestra La PM ERASER en operación.

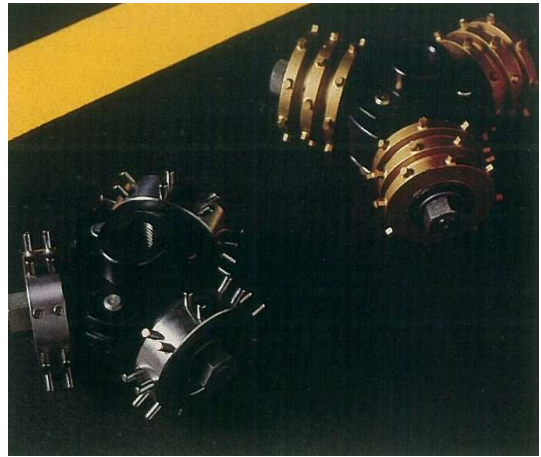
En **Fotografía 41** se muestran los repuestos de los anillos de corte.

FOTOGRAFÍA 40



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FOTOGRAFÍA 41



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

VI. RELACIÓN DE COSTOS CON MÉTODOS TRADICIONALES UTILIZADOS Y EL TERMOPLÁSTICO

En la *Tabla 8* se enumera los cuatro principales materiales de señalización horizontal que existen en Guatemala. Se hace una clasificación basada en el costo unitario el cual se determinó sacando un promedio de los principales proveedores que hay en el país, su vida útil y su costo en un ciclo de vida de 6 años. El costo unitario está calculado para una línea de 1.00m de largo 0.10m de ancho.

TABLA 8

MATERIAL	COSTO UNITARIO	VIDA ÚTIL	COSTO POR AÑO	COSTO EN SEIS AÑOS
Pintura de tráfico	Q. 6.00	1 año	Q. 6.00	Q. 36.00
Termoplástico de hidrocarburo (60 MIL)	Q. 15.00	3 años	Q. 5.00	Q. 30.00
Termoplástico ALKYD (60 MIL)	Q. 24.00	6 años	Q. 4.00	Q. 24.00
“LONG LINE TAPE” 3M-A350 (60 MIL)	Q 72.00	4 años	Q. 18.00	Q.108.00

VII. MARCADORES REFLECTIVOS PARA PAVIMENTO.

Los marcadores de pavimento son indicadores de señalización horizontal que sirven para complementar la delineación en la circulación de los vehículos sobre las carreteras y calles. Es un auxiliar que además de servir como vibradores, sustituye la retroreflectividad de la línea de termoplástico cuando existe mucha lluvia y neblina. A continuación se describen los dos tipos más importantes.

A. Marcadores tipo Aqualite.

Es una formulación química termoplástica especialmente dirigida para mantener una proporción del material elevado durable que da como resultado un marcador de pavimento fabricado en el lugar, patrón acanalado, de 2" (5 cm.) de largo por 500 milésimas de pulgada (1.27 cm.) de espesor. Combina visibilidad retroreflectiva proporcionada por las microesferas de vidrio, superior en tiempo de lluvia con una vibración de neumático audible cuando se está conduciendo con el propósito de causar un ordenamiento inducido en los vehículos. La altura y la frecuencia de estas protuberancias pueden ser controladas por el operador para poder ser utilizadas en situaciones variables de instalación. Es un sustituto ideal para los "bolardos" que se utilizan en Guatemala que van fijados con clavos acerados causando fracturas inmediatas en el pavimento y por consiguiente filtraciones de agua que precipitará el deterioro del pavimento y su base.

En la *Figura 18* y *Figura 19* Se ejemplifica lo que sucede físicamente cuando se pierde la retroreflectividad debido a la película de agua que se forma con la lluvia sobre la línea de termoplástico. Posteriormente se puede ver como el **Aqualite** resuelve este problema.

En las *Fotografía 42* se puede observar el **Hércules** aplicando **Aqualite** y el resultado retroreflectivo durante una noche de lluvia.

FIGURA 18

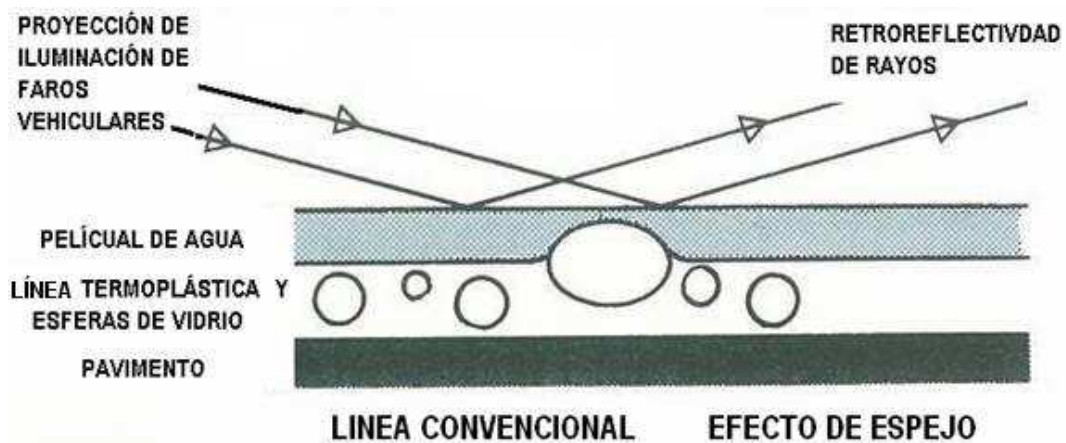


FIGURA 19

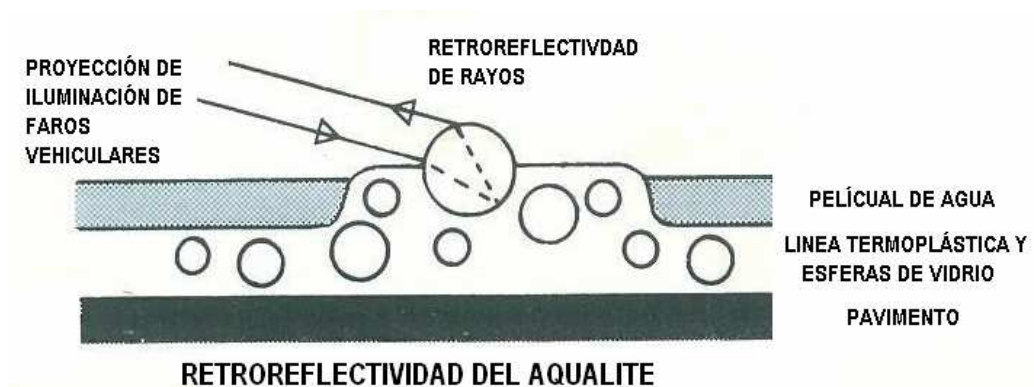


FIGURA 42



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

B. Marcadores tipo violeta (“ojos de gato”)

El marcador reflectivo tipo violeta está compuesto de un material reflector de plástico acrílico (**Glosario 21**) relleno con un compuesto altamente adherente.

Su tamaño es de 4 pulgadas x 4 pulgadas x 0.70 pulgadas (10cm. x 10 cm. x 1.78 cm.) de altura. Su área reflectiva es de 21 cm².

La intensidad específica es la siguiente:

- Blanco con 0.2° ángulo de de observación, 3.0 con un ángulo de entrada horizontal. 1.2 con un ángulo de entrada horizontal de 20°.

- Amarillo 60 % del valor del blanco.
- Rojo 25 % del valor del blanco.

El marcador reflectivo para pavimento **STIMSONITE Modelo 88** ha sido el más utilizado en la industria de la señalización por más de 35 años. Varios tipos de este marcador están disponibles formando un sistema completo para marcación de línea de delineación de calles y carreteras. Dependiendo de la ubicación y el tipo de carretera, se pueden clasificar en los siguientes modelos:

- **Modelo 88A**, ambas caras son reflectivas de un mismo color, los más comunes son blanco y amarillo (**Figura 20**).
- **Modelo 88B**, Una cara es reflectiva para una visión monodireccional (**Figura 20**)
- **Modelo 88E**, Ofrece su uso un doble propósito, dos sentidos, dos colores reflectantes para controlar el movimiento del tránsito en sentido equivocado (rojo) en carreteras con separador central o en rapas de entrada o salida. Se dispone en cualquier combinación de blanco, rojo, amarillo o aquellos que cumplan con normas de colores (**Figura 20**).

FIGURA 20

DISTINTOS MODELOS DE MARCADORES DE PAVIMENTO

MODELO 88A

MODELO 88B

MODELO 88E



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

Estos marcadores también están disponibles con las caras cubiertas con un vidrio para una mayor resistencia a la abrasión dándole una vida más larga y reflectividad superior (**Modelo 911**).

Los marcadores pueden instalarse con adhesivo bituminoso o con el adhesivo epóxico (**Glosario 22**) convencional.

Estos dos productos tienen dos inconvenientes:

- Se necesita una máquina especial para preparar y colocar el adhesivo.
- La adherencia que tiene el adhesivo sobre el termoplástico no es la óptima deseada.

El termoplástico derretido es un excelente adhesivo para los marcadores de pavimento (*“ojos de gato”* ó *“vialetas”*). Teniendo la particularidad que puede ser adherido, tanto sobre la línea de termoplástico fría, caliente o directamente sobre el pavimento. También tiene la ventaja que se pueden utilizar las máquinas de delineación para aplicar del adhesivo.

FOTOGRAFÍA 42

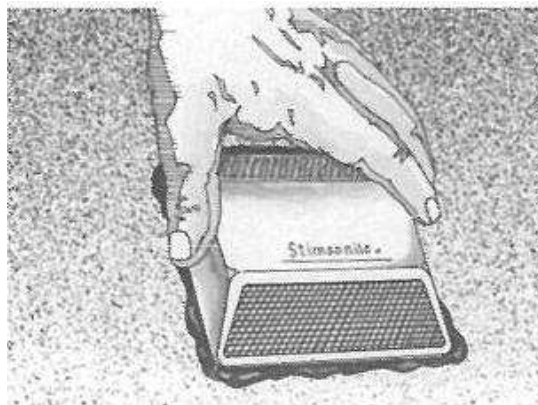
MARCADOR DE PAVIMENTO TIPO VIALETA COLOCADO EN PAVIMENTO DE CONCRETO CON TERMOPLÁSTICO AMARILLO



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

FIGURA 21

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE MARCADOR DE PAVIMENTO



(FUENTE PAVEMARK CORPORATION)

VIII. CONCLUSIONES

1) Tanto la pintura acrílica como la de tráfico, en carreteras deberá ser utilizada únicamente para señalización o desvíos temporales utilizados para el proceso de construcción de una carretera debido a que es un producto de poca durabilidad y el espesor de la línea que es tan pequeño (381 micrones aproximadamente), no tiene capacidad de retener por mucho tiempo las esferas de vidrio que producen la retroreflectividad de la iluminación nocturna de los vehículos.

2) Después de hacer una revisión de la normativa de las Especificaciones Técnicas en los manuales de carreteras que posee Guatemala, *ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES* y de *ESPECIFICACIONES ESPECIALES DE LA UNIDAD EJECUTORA DE CONSERVACIÓN VIAL*, con relación al tema de la señalización horizontal, se puede concluir que existe poco avance si se compara con la evolución que ha tenido el termoplástico en las carreteras de Guatemala como producto de delineación.

3) Cuando el termoplástico de hidrocarburo como el **Alkyd**, es apropiadamente formulado, es igualmente estable a calentamiento y fáciles de aplicar.

4) El termoplástico de hidrocarburo es el producto adecuado para ser utilizado en distancias muy largas y de poca contaminación vehicular ya que es un producto compatible con aceites y grasas. Trabaja muy bien a temperaturas de aplicación mayores a 204 °C (400 °F), es adecuada para utilizar con sistemas de aerosol que da como resultado una línea de menor grosor que la de listón y por consecuencia mayor

rendimiento con menos material. Sin embargo tiene el inconveniente que con los cambios de temperatura se agrieta muy fácilmente.

5) El termoplástico **Alkyd** se ha convertido el de mayor demanda principalmente por su durabilidad y calidad durante su proceso de vida útil.

6) Se ha demostrado que el termoplástico **Alkyd** y aplicado con tipo listón y molde, es económicamente más rentable a largo plazo.

7) Las microesfera de vidrio representa un complemento vital en la aplicación del termoplástico en pavimento, de lo contrario la retroreflectividad de la línea durante la noche sería prácticamente nula.

8) Las variables a considerar para obtener la mejor aplicación de las microesferas de vidrio son:

- a) Esfericidad y granulometría.
 - b) Recubrimiento y rango de aplicación.
 - c) Temperatura del termoplástico en el momento de aplicación.
 - d) Experiencia de los aplicadores.
 - e) Costos de mantenimiento.
 - f) Grado de penetración en el termoplástico.
 - g) Espesor de la película.
 - h) Tránsito de vehículos.
 - i) Costo por día útil de la señal.
 - j) Tipo de sustrato.
- 9) El trabajo de coordinación para la aplicación adecuada del termoplástico, consiste básicamente en los siguientes puntos:
- Pavimento limpio, seco y debidamente premarcado.
 - Aplicación del sellador (si es necesario).

- El material derretido en su momento de expulsión sobre el asfalto a una temperatura entre 400 °F (204 °C) y 450 °F (232 °C) en el caso de la utilización de molde o listón. Si se utiliza sistema de aerosol, se deberá aplicar a una temperatura entre 440 °F (227 °C) y 450 °F (232 °C).

- Una aplicación inmediata de esferas de vidrio apropiadamente sobre el material caliente en su momento de expulsión.

10) Se puede resumir en 17 puntos el criterio para tener una aplicación con termoplástica exitosa:

- Las especificaciones deberán ser preparadas con mucho cuidado.
- Usar el equipo adecuado de mantenimiento.
- Tener un total entendimiento de los requerimientos de trabajo.
- Mantener diariamente registros de aplicación e inspección.
- Lavar y secar el pavimento si es necesario antes de aplicar el material.
- Jamás mezclar termoplástico Alkyd con hidrocarburo.
- La temperatura ambiente y del pavimento deberá estar arriba de 50 °F.
- Aplicar sellador cuando sea recomendado.
- Los solventes del sellador deberán evaporarse antes de aplicar el termoplástico.

- Aplicar el termoplástico al grosor especificado.
- Nunca sobrecalentar el material.
- Verificar la temperatura del material y calibrar los termómetros de los hornos.

- Aplicar los materiales a su temperatura adecuada.
- Mantener un constante control de la aplicación de las esferas de vidrio.

- Siempre observar la apariencia final de la línea y su adherencia.
- Maximizar las medidas de control de tráfico.
- Nunca olvidar el mantenimiento de la maquinaria.

11) A pesar de todo el avance tecnológico que se ha logrado en la maquinaria de aplicación de termoplástico para pavimentos, La Apollo II sigue siendo una máquina de actualidad debido a que su tecnología simple la hace una máquina económica, de fácil manejo y versátil.

12) La utilización de los marcadores de pavimento es fundamental para la visión nocturna cuando hay lluvia o neblina y a la vez funcionan como vibradores para encauzar los vehículos y proteger la línea de termoplástico de la llanta de rodadura.

IX. RECOMENDACIÓN FINAL

Después de haber realizado un sondeo con las distintas empresas especializadas en la señalización horizontal en Guatemala, se llegó a recopilar la siguiente información:

1) Las empresas que aplican material termoplástico están utilizando únicamente con resinas a base de hidrocarburo. Estas empresas aducen que les es más fácil conseguirlo ya que es un producto proveniente de México y les facilita su importación debido a la proximidad con Guatemala bajando así el costo del mismo.

2) Por otro lado consideran que el material termoplástico de hidrocarburo es un producto contaminante del medio ambiente debido a que es un derivado del petróleo y si agregamos el incremento que ha sufrido el barril de petróleo en los últimos meses, obliga a estas empresas a buscar otras alternativas para la señalización horizontal.

3) Se está intentando introducir pinturas ecológicas como sustituto del material termoplástico con la finalidad de bajar los costos del producto.

4) Este trabajo contiene la suficiente información para demostrar que es técnicamente imposible sustituir al material termoplástico con el simple hecho de considerar como factor fundamental el grueso del mismo que básicamente le da dos cualidades que no se pueden obtener con la pintura ecológica o de cualquier otro tipo que son: La capacidad de sumergir la microesfera de vidrio adecuadamente y la durabilidad de la misma.

5) Cuando se les hizo la pregunta a las empresas que explicaran la razón por la cual no consideraban la utilización del material termoplástico *ALKYD*, respondieron que ese

producto no se utilizaba en Guatemala debido a que no era rentable por su alto costo y la dificultad que representaba su importación.

6) En el análisis hecho en la *tabla 9* de la sección VI, queda demostrado que a pesar de que el material termoplástico *ALKYD*, es un producto de mayor costo si lo comparamos con termoplástico de hidrocarburo o con pintura de tráfico, al hacer la evaluación al cabo de seis años, el resultado es que el termoplástico *ALKYD*, resulta siendo el mas rentable económicamente hablando.

7) No hay que olvidar que el termoplástico *ALKYD* es un producto no contaminante para el medio ambiente ya que sus resinas son derivadas de la madera y además ya ha sido utilizado en Guatemala con resultados positivos.

Queda plenamente demostrado que con las decisiones que se están tomando hoy en día en Guatemala con la utilización inadecuada del los distintos productos de señalación horizontal, nos están causando retroceso en el desarrollo de la delineación de pavimentos.

Estas decisiones arbitrarias no son más que el resultado de no tener especificaciones y reglamentaciones debidamente establecidas para evitar el uso inadecuado de los distintos productos que se consumen en nuestro país.

Este trabajo deja la base para iniciar el camino hacia una reglamentación y regulación de las especificaciones en la utilización del material termoplástico *ALKYD* como la mejor opción para la señalización horizontal de pavimentos.

Recomiendo que la elaboración final de estas especificaciones deberá ser un trabajo de equipo cuyo liderazgo debiera de ser tomado por La Dirección General de Caminos (DGC) quien deberá involucrar a los distintos sectores del país como lo son: La Unidad

de Conservación Vial (COVIAL), Cámara de la Construcción, Cámara del Agro y la Asociación de Transportistas.

El aporte proporcionado por las Universidades del país, con la participación de los mismos estudiantes, científicos y catedráticos en la coordinación y supervisión de los distintos laboratorios podría abrir la puerta para el estudio y análisis adecuado no solo del material termoplástico sino de los distintos productos y materiales de construcción que se utilizan en Guatemala.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. *Apollo system II basic operating guide*. 1,984. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 34 págs.
2. *Apollo system II bulletin, basic operation guide*. 1,984. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 25 págs.
3. *Catalog of traffic control products*. 1,991. Vulcan Signs. Alabama, USA. 64 págs.
4. *Complies with standard practices application handbook*. 1,986. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 67 págs.
5. *Especificaciones especiales, unidad ejecutora de conservación vial (COVIAL)*. 2,004. Unidad ejecutora de conservación vial. Guatemala. 151 págs.
6. *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales*. 2da. Edición. 2004. Consejo sectorial de ministros de transporte de Centro América, (COMITRAN). Secretaría de integración económica centroamericana, (SIECA). 658 págs.
7. *Hercules thermoplastic longliner*. 1,988. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 41 págs.
8. *Hot applied alkylid thermoplastic pavement marking specification*. 1,987. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 34 págs.
9. *Hotape heat-fused preformed thermoplastic pavement markings*. 1,991. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 65 págs.
10. *Manual on uniform traffic control devices for streets and highways*. 1,988. Federal Highways Administrator. Washington D.C, USA. 477 págs.
11. *Pavement marking removal machine*. 1,988. Pave-Mark Corporation. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 22 págs.
12. *Proposal form for installation of thermoplastic pavement markings*. 1,986. Pave-Mark Corporation. Atlanta Georgia, USA. 24 págs.
13. *Smith, Martin A*. 1,995. History Durable Pavement Markings in the USA. Pave-Mark Corporation. Atlanta Georgia, USA. 15 págs.
14. *Specification for motorized, longline and detail ride-on thermoplastic application system*. 1,996. Stimsonite corporation. Atlanta Georgia, USA. 68 págs.

15. *Specification for oil-jacketed thermoplastic melting kettle.* 1,996 Stimsonite corporation. Atlanta Georgia, USA. 56 págs.
16. *Specifications for preheater kettle(s), applicator, and trailer for installing thermoplastic pavement marking material.* 1,996. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 65 págs.
17. *Specification hand-held gun.* 1,991. Pave-Mark Corporation. Atlanta Georgia, USA. 37 págs.
18. *Standard practices for successful alkyd, hydrocarbon and epoxy thermoplastic pavement markings application.* 1,986. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 65 págs.
19. *Standard practices for successful thermoplastic pavement markings.* 1,992. Pave-Mark corporation. Atlanta Georgia, USA. 77 págs.
20. *Stimsonite corporation technical data sheet.* 1,996. Stimsonite corporation. Atlanta Georgia, USA. 18 págs.
21. *Thermoplastic pavement marking applicator and combination melter with automatic premelter and transport trailer.* 1,996. Stimsonite Corporation. Atlanta Georgia, USA. 23 págs.
22. *Thermoplastic pavement marking line quality comparisons.* 1,988. Pave-Mark Corporation. Atlanta Georgia, USA. 31 págs.

XI. ANEXOS

A. “El manual centroamericano **DE ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES** fue realizado en la Ciudad de Guatemala en el mes de noviembre del año 1999, aprobó la Resolución 03-99 apoyando un Programa de Modernización de Normas Técnicas aplicables a las carreteras y al transporte por carreteras. Con una donación de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos de América, según convenio USAID/SIECA No. 596-0181.20.”

B. Las Especificaciones Especiales de La Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL) fueron creadas con base a *Manual Centroamericano De Especificaciones Para La Construcción De Carreteras Y Puentes Regionales*.

C. **La pintura para pavimentos conforme a la norma FSS TT –P- 115F** refiere a la de tipo para tráfico convencional y debe ser premezclada (8 partes por volumen) y lista para su uso en pavimentos asfálticos y de cemento Pórtland, de secado rápido. Su aplicación deber ser satisfactoria cuando se aplica con soplete (Tendido en posición horizontal). Su espesor húmedo es de aproximadamente 381 micrones. La pintura sopleteada debe secar y quedar una película suave, uniforme, libre de asperezas, arenilla u otra imperfección de la superficie. Porcentaje de pigmentación 54.

D. **La pintura de tránsito** con base de agua está conformada por el 100 % de polímero (*Glosario 8*) acrílico y debe ser una mezcla lista para ser utilizada sobre pavimentos asfálticos y de cemento Pórtland, de secado rápido. Su aplicación deber ser satisfactoria

cuando se aplica con soplete (Tendido en posición horizontal). Porcentaje de pigmentación 45.

E. ASTM: Por sus siglas en inglés “American Society for Testing and Materials”.

F. Según **Norma ASTM 4505** la demarcación con el **plástico preformado** se clasifica según el contenido de material retroreflectivo y según el adherente que posee. De la clasificación indicada se ha seleccionado para el país el siguiente Tipo I: Que está conformado por una cinta que contiene elementos retroreflectivos en su superficie y entremezclado dentro del cuerpo de la cinta. El grado del material adherente de la cinta al pavimento será del grado D que corresponde a una cinta con adhesivo sensible a la aplicación de presión, protegida y cubierta por una película de fácil remoción.

G. AASHTO: Por sus siglas en inglés: “American Association of State Highway and Transportation Officials.

H. El termoplástico negro es utilizadas únicamente en algunos pavimentos de concreto cuyo acabado final es blanco y ocasiona que los conductores pierdan la visibilidad de la demarcación blanca debido al reflejo que se produce en el pavimento por los rayos del.

XII. GLOSARIO

A. Material bituminoso: Es el nombre utilizado para sustancias compuestas de carbono e hidrógeno que se encuentran en la naturaleza y arden con llama, humo espeso y olor peculiar. El carbón bituminoso es un carbón relativamente duro que contiene betún, de mejor calidad que el lignito, pero peor que la antracita. Suele ser de color negro, a veces marrón oscuro, presentando a menudo unas bandas bien definidas de material brillante y mate. Las vetas de carbón bituminoso se identifican estratográficamente por la distintiva secuencia de bandas brillantes y oscuras. El carbón bituminoso contiene entre un 60 y un 80% de **carbono**, siendo el resto **agua, aire, hidrógeno y azufre**.

B. Opacidad: Un material presenta opacidad cuando no deja pasar la luz en proporción apreciable. Es una propiedad óptica de la materia, que tiene diversos grados y propiedades. Se dice, en cambio, que un material es traslúcido cuando deja pasar la luz, pero de manera que las formas se hacen irreconocibles, y que es transparente cuando deja pasar fácilmente la luz. No es transparente. No deja pasar la luz.

C. Carbonato de Calcio: Es un compuesto químico, de fórmula CaCO_3 . Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, es fundamental en la producción de vidrio, cemento y cal, entre otros productos. Es el

D. Resina: Sustancia viscosa que fluye de varios árboles o plantas con aspecto y propiedades más o menos análogas a las de los productos así denominados. Se puede considerar como resina las sustancias que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas. En el caso del termoplástico de hidrocarburo este utiliza resinas sintéticas de forma analógica.

E. Correo: Flexible y elástico al mismo tiempo.

F. Dióxido de Titanio: Es un compuesto cuya fórmula es TiO_2 . Se presenta en la naturaleza en varias formas: rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octaédrica) y brookita (estructura ortorrómbica). El dióxido de **titanio rutilo** y el dióxido de titanio anatasa se producen industrialmente en grandes cantidades y se utilizan como pigmentos, catalizadores y en la producción de materiales cerámicos. Tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad. El dióxido de titanio es el pigmento inorgánico más importante en términos de producción mundial. Es una de las sustancias químicas más blancas que existen: refleja prácticamente toda la radiación visible que le llega. Y mantiene el color de forma permanente. Es una de las sustancias con un índice de refracción más alto (2.4, como el diamante), incluso pulverizado o mezclado con otras cosas y por la misma razón, es muy opaco.

G. Inerte: Cuerpo que permanece inactivo al combinarse con otro.

H. Polímero: En química, los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

I. Flexibilidad: Cualidad de los materiales para poder doblarse.

J. El índice de fluidez: es una prueba básica que se realiza a un polímero para conocer su fluidez. Se mide en gr./10min. Se define como la cantidad de material (medido en gramos) que fluye a través del orificio de un dado capilar en 10 minutos, manteniendo constantes presión y temperatura.

K. Índice de refracción: Se denomina índice de refracción al cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula. Se simboliza con la letra n y se trata de un valor adimensional.

L. Abrasión: Desgaste por fricción.

M. Redondez o esfericidad: la desviación de una redondez ideal que es determinada por la diferencia entre los radios mayor y menor del contorno medido de un mensurado, con cualquiera de los siguientes centros:

1. Centro de un Círculo de Mínimos Cuadrados.
2. Centro de Círculos con Zona Mínima.
3. Centro de un Mínimo Círculo Circunscrito.
4. Centro del Máximo Círculo Inscrito.

N. $\text{lm}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ El lux, símbolo lx, es la Unidad derivada del SI de iluminancia o nivel de iluminación. Es igual a un lumen $/\text{m}^2$.

Ñ. Aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferroso. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra. En estado natural se encuentra en muchos silicatos (feldespatos, plagioclasas y micas). Como metal se extrae del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio mediante electrólisis. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, tales como su baja densidad ($2.700 \text{ kg}/\text{m}^3$) y su alta resistencia a la corrosión. Mediante aleaciones adecuadas se puede aumentar sensiblemente su resistencia mecánica (hasta los 690 MPa). Es buen conductor de la electricidad, se mecaniza con facilidad y es relativamente barato. Por todo ello es el metal que más se utiliza después del acero.

O. Tungsteno es un elemento químico de número atómico 74 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es W. Metal caso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. De color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los elementos. Se usa aleado con el acero, en la fabricación de aceros especiales. Su variedad de carburo de Tungsteno sinterizado se emplea para fabricar herramientas de corte. Esta variedad absorbe más del 60% de la demanda mundial.

P. El acero es la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2.1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar, a diferencia de los aceros, se moldean.

Q. BTU Unidad de energía inglesa. Abreviatura de *British Thermal Unit*. Se usa principalmente en los Estados Unidos. Ocasionalmente también se puede encontrar en documentación o equipos antiguos de origen británico. En la mayor parte de los ámbitos de la técnica y la física ha sido sustituida por el Julio, que es la correspondiente unidad del sistema internacional.

Una BTU equivale aproximadamente:

- 252,2 calorías
- 1.055 julios
- 12.000 BTU = 1 tonelada de refrigeración = 3.000 frigorías.

Una BTU representa la cantidad de energía que se requiere para elevar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua en condiciones atmosféricas normales. Un

pie cúbico de gas natural despiden en promedio 1.000 BTU, aunque el intervalo de valores se sitúa entre 500 y 1.500 BTU.

R. gpm. El propano y los componentes más pesados que están presentes en el gas natural se suelen extraer de la mezcla para formar el LPG (gas propano líquido). El gpm identifica a la cantidad de galones de líquido que se pueden extraer de cada mil pies cúbicos de gas natural. Así, cuando se habla de un GPM = 3,0 estamos expresando que, se pueden extraer 3.000 galones de líquido de cada millón de pies cúbicos medidos en condiciones estándar. Es una unidad de ingeniería usada para el proceso del gas natural. se escribe en minúscula para diferenciarlo del GPM (galones por minuto) unidad de caudal.

S. rpm. Las revoluciones por minuto (rpm, RPM o r/min.) es una unidad de frecuencia, usada frecuentemente para medir la velocidad angular. En este contexto, una revolución es una vuelta de una rueda, un eje, un disco o cualquier cosa que gire.

T. Acrílico: El ácido acrílico es un compuesto químico (fórmula $C_3H_4O_2$), siendo el ácido carboxílico insaturado más simple, con un enlace doble y un grupo carboxilo unido a su C3. En su estado puro, se trata de un líquido corrosivo, incoloro y de olor penetrante. Es miscible con agua, alcoholes, éteres y cloroformo. Es producido a partir del propileno, un subproducto gaseoso de la refinación de petróleo. El ácido acrílico presenta una acentuada tendencia a la creación de polímeros, los cuales, en su forma neutralizada (como el poliacrilato de sodio) son utilizados comercialmente.

U. Epóxico. El nombre fue utilizado por primera vez en 1946 y se le dio a dos tubos de Adhesivo epóxico. Posteriormente se utilizó para adhesivos acrílicos y de poliuretano.