

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Con la inmediatez del mundo, las investigaciones y las constantes sobrecargas visuales, la información es cada vez más rápida y directa. Las señales de tránsito y de transportes datan del Imperio Romano, quienes instalaron algunas señales indicando el camino correcto y la distancia que había entre una ciudad y el Imperio. Con el paso del tiempo los vehículos se fueron multiplicando y los símbolos fueron la única forma de comunicar las normas de tránsito a los conductores y a los peatones.

La comunicación visual y la señalética se sintetizan a un conjunto de señales o símbolos que cumplen la función de guiar, orientar u organizar a una persona o conjunto de personas en un determinado espacio. Con el crecimiento de la incorporación de los sistemas visuales, se busca cada vez más los soportes adecuados al entorno en el que se pretende dar una información. La denominación de “comunicación visual incluyente y su concientización en el empleo de la señalética”, abarca los estereotipos del campo de la comunicación social y de la comunicación visual y su análisis se basa en la problemática existente.

Las instituciones dedicadas al control vial, previo a estudios, colocan dos señales de tránsito solo en una parte de un determinado sector, pero esto no es suficiente debido al crecimiento de la población y de los medios de transporte. Reconocidos los puntos de falencia, se propone generar estrategias comunicacionales que permitan la correcta implementación y uso adecuado de la señalética.

El objetivo primordial se basa en la concienciación del empleo de la señalética a través de una buena comunicación visual, brindando información adecuada, por ello se pretende estudiar del mejoramiento de la señalización vial, implementado con material de termoplástico que se aplica dentro de las tecnologías insanas de la construcción vial, la misma que se está aplicando en ciertos países del mundo por su mayor durabilidad y fácil colocado, es más resistente a la abrasión y reactivos químicos tomando en cuenta también su alto índice de agarre.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se puede observar, que nuestro país a pesar de su desarrollo actual, aún carece de una buena señalización vial en varias carreras y en las zonas urbanas de su territorio.

El deterioro de la señalización vial en Bolivia es apreciable en la mayoría de sus carreteras sean departamentales o fundamentales, así también en sus zonas urbanas; llegando a causar de forma indirecta accidentes de tráfico, y en casos extremos se llegan a perder vidas humanas.

Es importante mencionar también las molestias que se generan por parte del sector de autotransporte sea privado o público ante la interrupción del tráfico vehicular, frente al constate mantenimiento de la señalización vial horizontal por el uso de materiales de baja durabilidad en zonas urbanas.

Por lo tanto, es necesario contar con una señalización vial definida y permanente, con el fin de disminuir los posibles accidentes de tránsito y a su vez mantener un tráfico fluido y sin interrupciones, con un considerable ahorro en tiempo y el dinero invertidos en proyectos de mantenimiento de señalización vial.

Con la elaboración del siguiente trabajo que contempla la aplicación de material termoplástico para la señalización horizontal en pavimentos flexibles en zonas urbanas.

Una señalización vial horizontal con material termoplástico nos proporciona un sinnúmero de beneficios, entre ellos se puede especificar su larga vida útil, lo que reduce la probabilidades de accidentes de tránsito por deterioro de la señalización, esto por el desgaste acelerado del material, también disminuye los costos a largo plazo en mantenimiento de las señalizaciones viales, y es importante mencionar, que por su rápido curado, el tránsito no es perjudicado en grandes magnitudes, durante su empleo.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

Se sabe que el desgaste de cualquier marca en el pavimento es por abrasión, es decir, que a mayor tránsito, mayor desgaste. Considerando esto no se puede garantizar una correcta señalización de una ruta de alto tránsito, si utilizamos pintura de tránsito convencional cuya durabilidad no excede los tres meses.

Para una empresa de administración vial, no es posible interrumpir el tránsito de una autopista, carretera o calles de zonas urbanas cada dos meses, para que esta sea nuevamente señalizada, por que se generan molestias por parte del sector de autotransporte, al verse interrumpido el tráfico fluido.

Además cabe mencionas los gastos de tiempo y dinero, que generan al realizar un mantenimiento constante dela señalización vial.

1.3.2 Problema

¿Qué beneficios se obtienen al implementar la pintura termoplástica en pavimentos flexibles en cuanto a costo y tiempo, para mejorar la señalización horizontal en calles de zonas urbanas?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Estudiar el material termoplástico y su influencia en la mejora de la señalización vial horizontal, verificando el cumplimiento de las propiedades del material termoplástico, aplicado a pavimentos flexibles dentro el casco central de Tarija, con el fin de observar los beneficios, y fomentar el uso de este material en nuestro país.

1.4.2 Objetivos específicos

- Inspeccionar técnicamente la zona de aplicación.
- Establecer las especificaciones de las propiedades de la imprimación Primex y las microesferas de vidrio Microlux para su utilización en la señalización con pintura termoplástica.
- Caracterización las propiedades de la pintura termoplástica Termovial XB H1.
- Plantear el proceso de aplicación del material termoplástico para la señalización vial en pavimentos flexibles de zonas urbanas.
- Ejecutar la aplicación de la pintura termoplástica sobre el pavimento flexible de la intersección de las calles Federico Ávila e Ingavi.
- Efectuar controles técnicos para verificar una buena ejecución de la aplicación de la pintura termoplástica sobre pavimentos flexibles.

- Realizar un análisis comparativo entre pintura termoplástica con pinturas convencionales.
- Establecer un análisis de los resultados, sus conclusiones y recomendaciones de la señalización con termoplástico.

1.5 HIPÓTESIS

Las pinturas termoplásticas viales son mezclas granulares en estado sólido cuya composición debe contener una resina plástica alquídica, con implementación de microesferas de vidrio que aseguran una mayor reflectividad a ojo del ser humano. Su empleo nos brindará el aumento de las características de rendimiento de las autopistas, carreteras o calles de zonas urbanas; la gran ventaja es su durabilidad incluso si está sometida a grandes volúmenes de tráfico, con su alta resistencia a la abrasión o a los reactivos químicos y el alto índice de agarre nos garantiza una señalización vial horizontal duradera.

1.6 VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

- Variable independiente

La señalización vial horizontal.

- Variable dependiente

Implementación del material termoplástico en la señalización vial.

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1 Componentes

1.7.1.1 Unidad

La Unidad de estudio es la implementación del material termoplástico para la mejora de la señalización vial horizontal en vías de zonas urbanas.

1.7.1.2 Población

Para el presente estudio de los beneficios del material termoplástico con microesferas de vidrio, se realizará la aplicación en señales horizontales y señales trasversales sobre pavimentos flexibles de zona urbana, donde existe mayor tráfico.

1.7.1.3 Muestra

El material termoplástico como pintura de señalización se diferencian en dos tipos, de color blanco y amarillo, considerando la única y pequeña variación en cuanto a la temperatura de fundición, la aplicación se realizara con pintura termoplástica blanca Termovial XB H1, que contiene microesferas Intermix tipo I, resultando ser un material 100% solido; para el empleo del material termoplástico se lo ejecutara mediante equipo ThermoLazer cumpliendo todo los requerimientos que presentan las especificaciones técnicas del material. Para el diseño de la señalización horizontal se diseñará según lo establecido en el Manual de Dispositivos de Control de Transito ABC.

1.7.1.4 Muestreo

El estudio iniciara con el dimensionamiento de la señalización horizontal de acuerdo las medidas establecidas en el manual de la ABC. Se aplicara la pintura termoplástica en un promedio de 25 (m²) de superficie, con un espesores menores a 3 mm, el empleo se lo realizara pavimentos flexibles que carezcan de señalización horizontal dentro el casco central de Tarija-Cercado con alto tráfico vehicular.

1.7.2 Métodos y técnicas empleadas

1.7.2.1 Definición, selección y/o elaboración de los métodos y técnicas en función del objeto y los objetivos

➤ El método inductivo

El método utilizado para este trabajo de aplicación será inductivo, mediante el cual se observara las cualidades de la pintura termoplástica, se registrarán y se contrastará los beneficios del empleo de los materiales termoplásticos para la señalización vial.

Se estudiará todos los ensayos necesarios para confirmar las premisas, del mejoramiento de la señalización vial con materiales termoplásticos.

➤ Técnicas de muestreo

La técnica de muestreo aplicada para este estudio será la probabilística aleatoria simple, porque cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser escogido para formar parte de la muestra.

1.7.2.2 Descripción de los instrumentos para la obtención de datos

Para la obtención de datos se utilizará el laboratorio de suelos y asfaltos, donde para la caracterización de las microesferas de vidrio, utilizare juego de tamices, balanzas, matraz de 500 ml, termómetros y para la caracterización del material termoplástico, equipo de punto de ablandamiento, hornos eléctricos, cronómetros, termómetros, etc.

Instrumentos y medios para la aplicación práctica:

- Mochila sopladora mecánica, para la limpieza del pavimento.
- Equipo de fundición y aplicación, ThermoLazer.
- Tolvas de 40 cm para el demarcado.
- Guantes de cuero para manipular el equipo.
- Termómetro, para medir la temperatura tanto de fusión como temperatura de empleo.
- Conos de seguridad.
- Recipientes de lata, para vaciar la imprimación.
- Flexómetro, para medir las dimensiones de las señales a pintar.
- Cintas adhesivas.
- Espátulas metálicas de 2” a 4”.
- Varillas de acero
- Placas de aluminio 60 x 30 para tomar muestras
- Pliegos de plástico de 30 cm x 30 cm. para la prueba de humedad.
- Cronómetro.
- Luxómetro.
- Cámara fotográfica.
- Cámara de video.

Ensayos previos y posteriores a la aplicación de la pintura termoplástica:

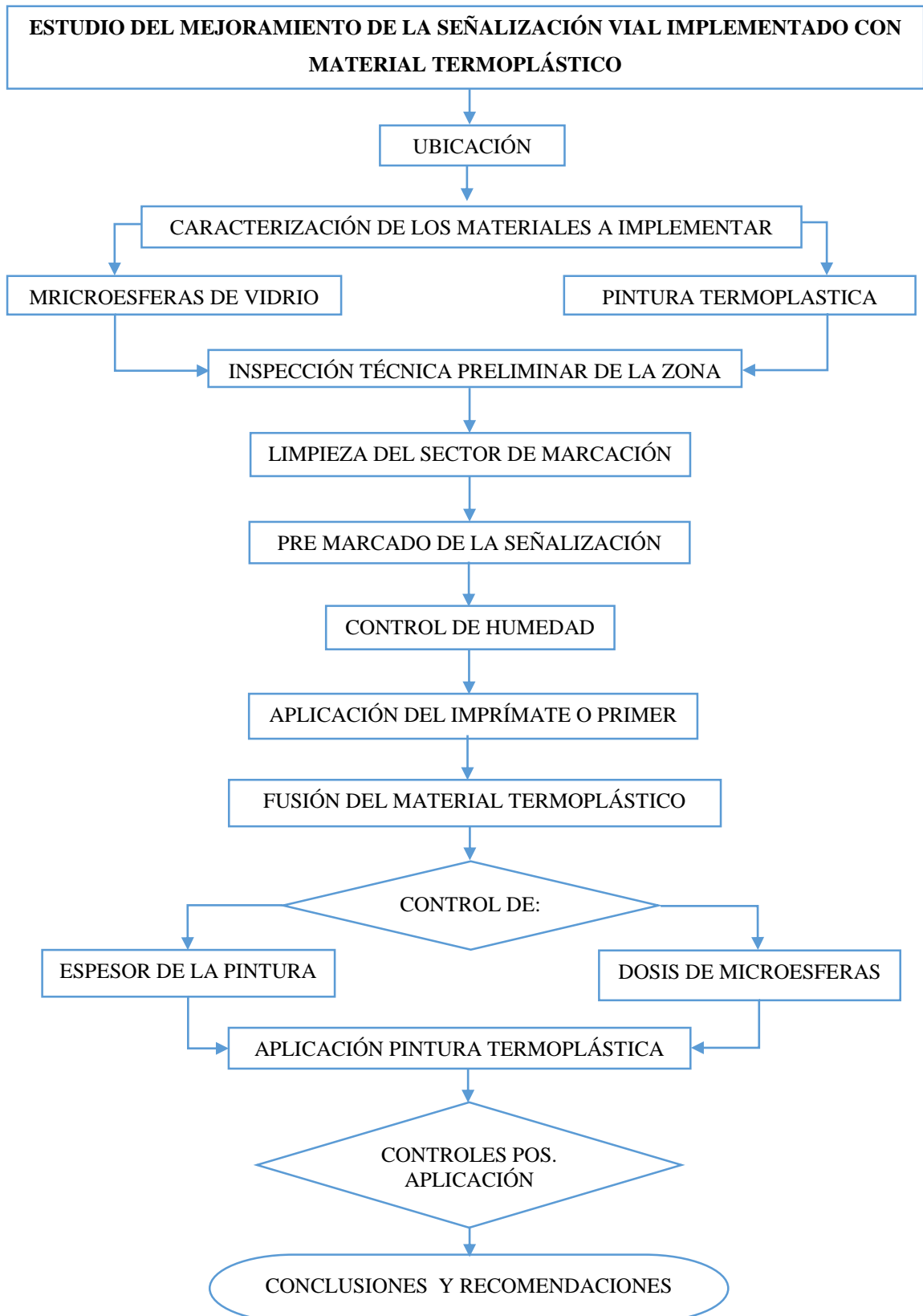
- Ensayo granulométrico a las microesferas de vidrio.
- Peso específico de las microesferas de vidrio y al material termoplástico.
- Control del tiempo de secado.

- Ensayo de punto de ablandamiento.
- Ensayo de fluidez.
- Ensayo de fluidez a calentamiento extendido.
- Ensayo de comportamiento a temperatura de aplicación.
- Ensayo de deslizamiento por calentamiento.
- Ensayo de resistencia a bajas temperaturas.
- Prueba de control de humedad.
- Calibración del espesor de la pintura y dosis de microesfera.
- Medición de espesor y anchos de la pintura.
- Ensayo de adherencia.
- Ensayo de la reflectividad.
- Ensayo de esferas incorporadas y perfectas.

Todos estos métodos aplicados en este trabajo de aplicación estarán detallados debidamente.

De todos los instrumentos y materiales a utilizar se tomará en cuenta los errores personales o del instrumento que se pueden presentar en la obtención de datos.

1.7.2.3 Procedimiento de aplicación



Para el estudio y aplicación de la Pintura Termoplástica, se iniciará realizando la inspección técnica preliminar del pavimento flexible, observando los siguientes detalles como ser: la edad y estado del pavimento, pintura existente de ser el caso, condiciones de tráfico y condiciones climáticas de la zona; siguiendo con la caracterización de los materiales en estudio como el termoplástico y las microesferas de vidrios, siguiendo las normas AASHTO M249-08 y AASHTO M247. Se definirá las especificaciones operativas, para su posterior pre marcado de la señalización horizontal, dentro de estas especificaciones tenemos: especificación de la pintura termoplástica, espesor y ancho de las líneas de demarcación, niveles de retro-reflectividad; el procedimiento de aplicación, reglamentos y normativas que deben cumplir los materiales y equipos.

Se realizara el pre marcado respetivo de acuerdo a las dimensiones establecidas en el manual de la ABC, por lo general la tolerancia en las medidas y paralelismo es de +/- 5% sobre los valores especificados, realizando una aplicación del material aproximadamente de 25 m² de superficie, para la limpieza del pavimento se procederá a trabajar con un soplete dejándolo libre de residuos de polvos, con su respectivo control de humedad. La aplicación del Imprimate o primer dependerá de la edad del pavimento influyendo en una mejor adherencia. Consecutivamente se efectuara la fusión del material termoplástico, a una temperatura de fusión entre 190 y 230 °C, los calderos permitirán una fusión y temperatura homogénea.

Cuando el material está completamente fundido, que usualmente toma entre 45 a 80 minutos, previo a la aplicación sobre el pavimento, debe calibrarse el espesor de la pintura en la tolva del equipo Thermolazer. Para esto se harán pruebas aplicando sobre placas de aluminio que permitan la medición del espesor acorde a las especificaciones y la dosis indicada de microesfera será uno de los factores principales para la obtención de la reflectividad esperada, así también se realizarán las pruebas de adherencia.

Una vez echas las calibraciones respectivas se procederá a la aplicación de la pintura termoplástica sobre pavimento, una vez secada se recolectarán las muestras necesarias para su posterior control mediante pruebas pos aplicación de la pintura termoplástica, como ser los espesores, anchos de franjas, incorporación de microesferas y control de la reflectividad, etc.

1.7.3 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

➤ Análisis Estadístico

Para la obtención de los cálculos que se requieren mostrar del estudio de la aplicación del Material Termoplástico, nos ayudamos de fórmulas estadísticas descriptivas como:

➤ Media aritmética

Que, en un conjunto finito de números, es el valor característico de una serie de datos cuantitativos que son objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, es decir: es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$
$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

\bar{X} = Valor de la media aritmética

X_1, X_2, X_3 = Valores de muestras obtenidas

N = Número de muestras

➤ Desviación Estándar

También se utilizará la desviación estándar que es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio”.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

X_i = Valor de cada muestra de observación

\bar{x} = Valor de la media aritmética

n = Número de muestras

➤ **La varianza**

Es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones.

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Donde:

X = Variable sobre la que se pretenden calcular la varianza

x_i = Observación número i de la variable X. i puede tomará valores entre 1 y n

n = Número de observaciones

\bar{x} = Es la media de la variable X

1.8 ALCANCE DE LA APLICACIÓN

Con la realización de este proyecto de aplicación se pretende conocer al material Termoplástico como pintura y la manera en la que puede mejorar la señalización vial, desde un punto de vista técnico y económico, con el fin de generar una buena comunicación visual, brindando la información adecuada.

Es necesario plantear y contemplar la forma en que se aplicara del material termoplástico, analizar su influencia en la señalización vial, considerando de esta manera todos los aspectos beneficiosos a corto y largo plazo, que solucionarán los problemas en cuanto al mejoramiento vial se refiere.

Es preciso conocer las propiedades y las características de la pintura termoplástica, así también de los materiales que contribuyen a una implementación correcta y perdurable de este material, como ser el imprimante, las microesferas de vidrio, etc. Todo ello basándose en bibliografía específica, artículos de investigación e investigaciones anteriores.

Se pretende realizar la demarcación complementaria (señales longitudinales, señales transversales, etc.) en caliente con pintura termoplástica, en pavimento flexible en una

respectiva intersección donde la señalización vial sea escasa. Se realizarán estudios al material previo a su aplicación, esencial para comprobar que cumpla con las normas establecidas, así también realizar controles posteriores a su aplicación, para comprobar los beneficios de su uso, todo ello por medio de ensayos de laboratorio y ensayos en campo. Con toda la información obtenida se dará paso, análisis de todos los resultados para las respectivas conclusiones sobre la aplicación de la pintura termoplástica como material para el mejoramiento de la señalización vial, y se explicaran las recomendaciones respectivas en cuanto a su aplicación, seguridad y mantenimiento que se debe considerar al realizar las demarcaciones en caliente con termoplástico.

CAPÍTULO II
ASPECTOS GENERALES DE LA
SEÑALIZACIÓN VIAL Y MATERIALES
TERMOPLÁSTICOS

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA SEÑALIZACIÓN VIAL Y MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

2.1 SEÑALIZACIÓN

Es un conjunto de señales, que proporcionan información determinada de orientación, nos indica donde estamos, hacia donde queremos ir y como llegar.

2.2 TIPOS DE SEÑALES

- a) Señal de advertencia, que advierte de un riesgo o peligro.
- b) Señal de obligación, que obliga a un comportamiento determinado.
- c) Señal de prohibición, que prohíbe un comportamiento susceptible de provocar un peligro.
- d) Señal de salvamento, emergencia y/o evacuación, que proporciona indicaciones relativas a las salidas de emergencia, a los primeros auxilios o a los dispositivos de salvamento.
- e) Señal de protección contra incendios, que proporciona indicaciones relativas a las acciones o equipos a usarse en caso de un incendio.

2.3 SEÑALES HORIZONTALES

Las señales horizontales o demarcaciones, son marcas o elementos instalados sobre el pavimento, que mediante el uso de símbolos y leyendas determinadas cumplen la función de ordenar y regular el uso de la calzada.

La demarcación mediante líneas de pista, de eje y de borde otorga un mensaje continuo al usuario, definiendo inequívocamente el espacio por el cual debe circular, otorgando al conductor la seguridad de estar transitando por el espacio destinado para tal efecto. Por el contrario, la ausencia de demarcación, genera comportamientos erráticos e inesperados en los conductores.

2.3.1 Clasificación según su altura

La señalización horizontal, en función de su altura, podrá ser de alguno de los siguientes tipos:

2.3.1.1 Planas

Son las de hasta 6 mm de altura.

2.3.1.2 Elevadas

Son las de más de 6 mm y hasta 21 mm de altura, utilizadas para complementar a las planas. Una demarcación elevada aumenta su visibilidad, especialmente, al ser iluminada por la luz proveniente de los focos de los vehículos, aún en condiciones de lluvia, situación en la cual, generalmente, la demarcación plana pierde eficacia.

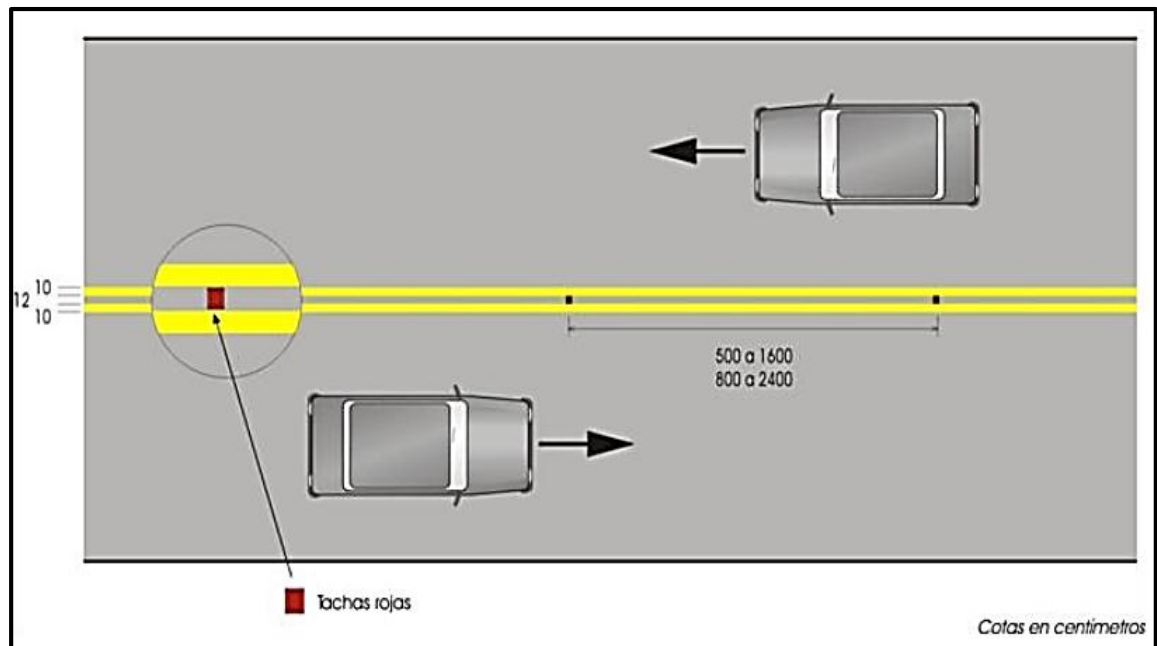
2.3.2 Clasificación según su función

De acuerdo con la función que cumplen, las demarcaciones se clasifican en:

2.3.2.1 Líneas longitudinales

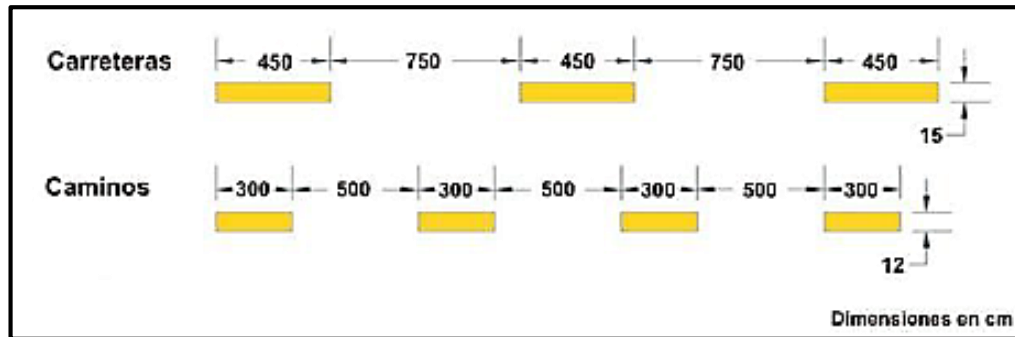
Las líneas longitudinales se emplean para delimitar pistas y calzadas; para indicar zonas con y sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar; y, para delimitar pistas de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos, por ejemplo, pistas exclusivas de bicicletas o buses.

Figura 1. Señales horizontales longitudinales continua



Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

Figura 2. Señales horizontales longitudinales discontinuas



Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

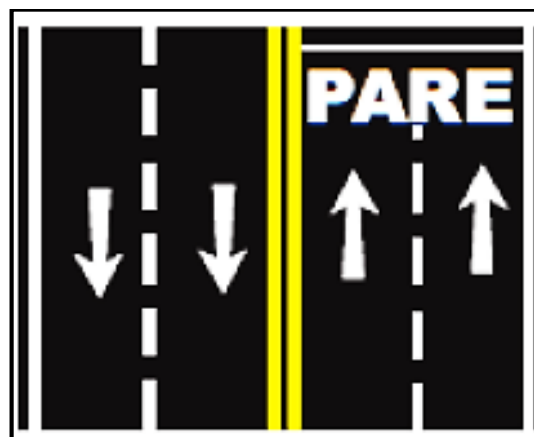
2.3.2.2 Líneas transversales

Las líneas transversales tienen la función de definir puntos de detención y/o sendas de cruce de peatones y ciclistas, pueden ser de dos tipos; Líneas de Detención y Líneas de Cruce.

a) Líneas de detención

Corresponden a las líneas que indican el lugar, ante el cual, los vehículos que se aproximan a un cruce o paso para peatones, deben detenerse. En vías urbanas con velocidades máximas permitidas iguales o inferiores a 60 km/h, y en caminos, el ancho mínimo debe ser de 20 cm. En cambio, cuando se trate de vías urbanas con velocidades máximas superiores a 60 km/h, y en carreteras, el ancho mínimo será de 30 cm.

Figura 3. Señalización horizontal en cruce regulado señal pare



Fuente: (Comunicaciones, 2011)

b) Líneas de cruce

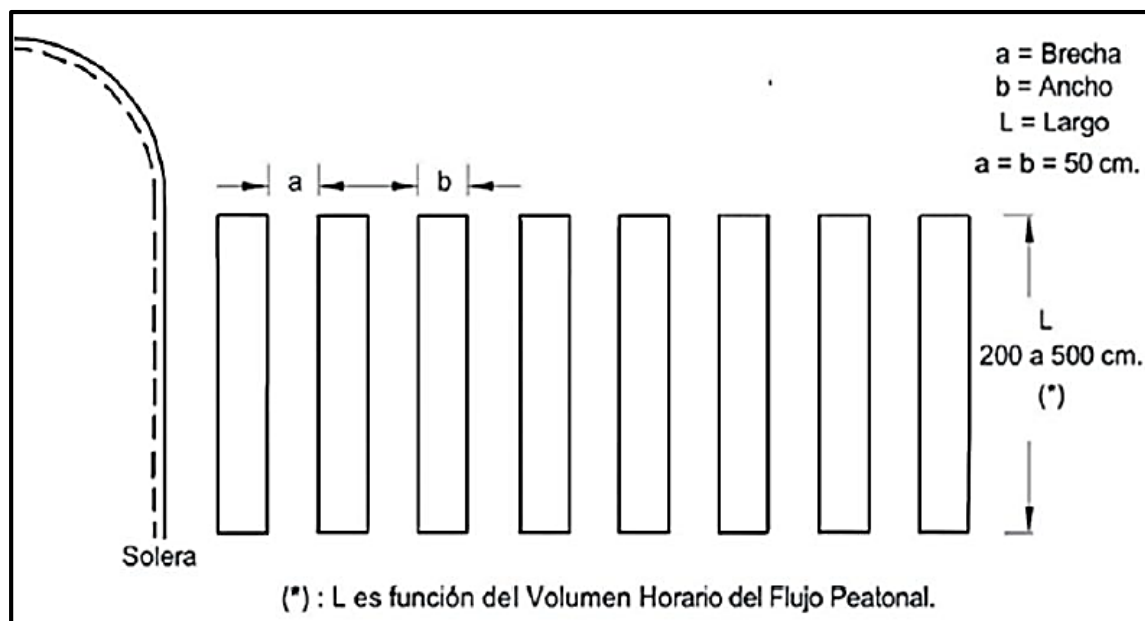
a. Líneas de cruce en paso peatonal tipo cebra

Esta demarcación, se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta. Dicha zona se compone de una línea transversal segmentada, en que cada segmento tiene un ancho de 50 cm, una brecha de 50 cm, y un largo constante que puede variar entre 2,0 - 5,0 m según volumen del flujo peatonal que solicitara el cruce. El borde de la banda más próxima a cada solera debe ubicarse aproximadamente a 50 cm de esta.

La línea de detención asociada al cruce peatonal indicará al conductor que enfrenta un paso de cebra, el lugar más próximo al cruce donde el vehículo deberá detenerse, tal como se puede apreciar en la Figura 3. Misma exigencia deberán cumplir Pasos Peatonales Tipo Cebra emplazados en esquinas.

En casos especiales de alto tránsito peatonal, se podrá utilizar un ancho mayor, dependiendo de la evaluación que se efectúe en cada situación.

Figura 4. Ancho senda peatonal



Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

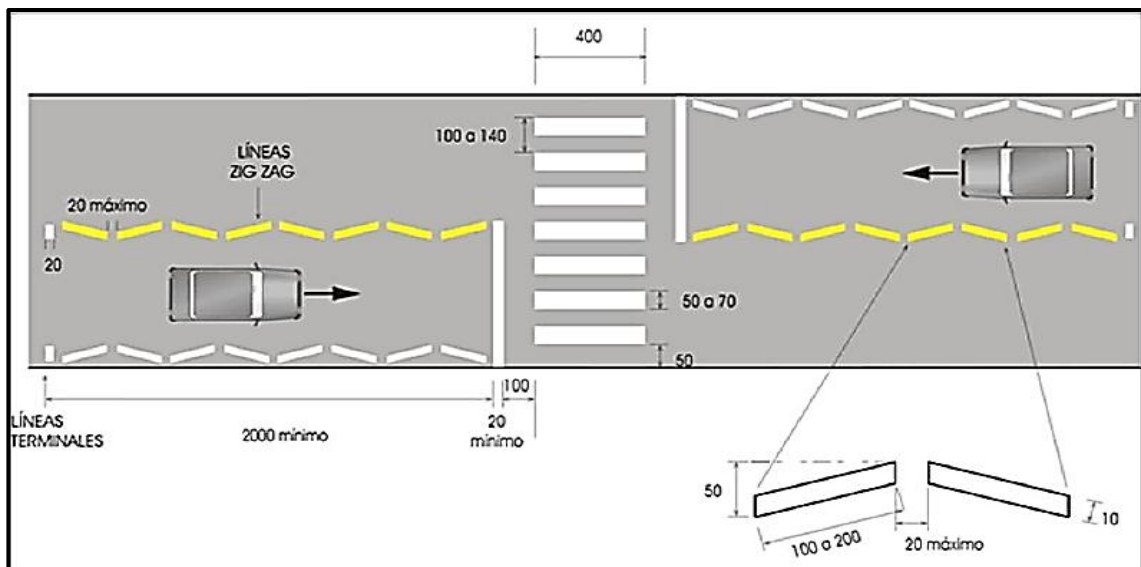
El ancho de la senda es función del flujo peatonal, de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 1. Ancho senda peatonal

Flujo Peatonal (peatones/h)	Ancho Mínimo (m)
Menor o igual a 500	2,0
501 a 750	2,5
751 a 1000	3,0
1001 a 1250	3,5
1251 a 1500	4,0
1501 a 1750	4,5
Mayor a 1750	5,0

Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

Figura 5. Señalización horizontal en cruce peatonal tipo paso de cebra



Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

Estas líneas de cruce peatonal del tipo Paso de Cebra, deberán ser complementadas con demarcaciones de líneas tipo zig-zag, desde 20 m antes de la línea de detención, con la finalidad de advertir a los conductores la proximidad del paso de cebra como se muestra

en la figura 5. Estas líneas son blancas y se construyen según lo indicado en la figura anterior.

Además, para advertir la proximidad de esta demarcación, se complementa con la señal vertical proximidad de paso de cebra, balizas iluminadas u otras señales que refuercen el mensaje hacia el conductor, con la finalidad de que disminuya su velocidad.

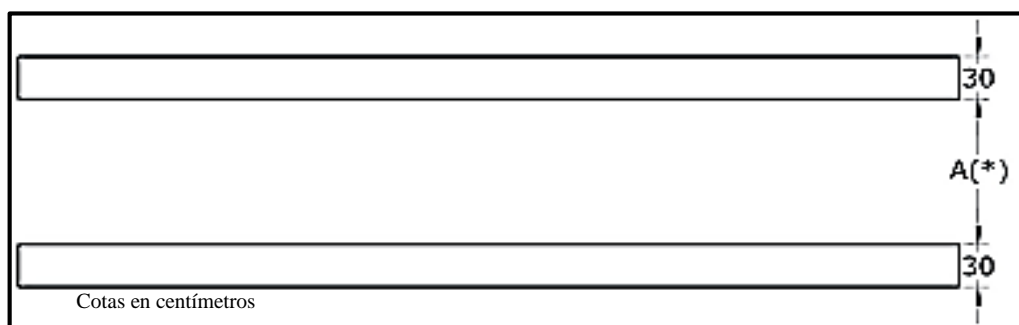
b. Líneas para cruce peatonal sanforizado

Corresponde a las líneas de demarcación, que delimitan el sector de la calzada empleada por los peatones, para realizar el atravesado en cruces regulado por semáforo.

La demarcación está conformada por dos líneas paralelas de color blanco, cuyo ancho es de 30 cm. y 50 cm. En caso que la intersección presente des alineamientos geométricos, dichas líneas de demarcación podrán no ser paralelas. No obstante, la línea de detención deberá ubicarse entre 1 m de la línea transversal más próxima que delimita la senda de cruce.

El ancho “A” de la senda peatonal será de 2 m como mínimo. Para flujos peatonales mayores a 500 peatones por hora, el ancho del paso peatonal, deberá ser aumentado en 0,5 metros por cada 250 peatones por hora, con un máximo de 5 metros (Ver Tabla 1). El flujo peatonal se calculará como el promedio de las 4 horas de mayor demanda peatonal.

Figura 6. Dimensiones demarcación cruce peatonal semaforizado



Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

Nota: Dimensiones en centímetros

El ancho de la senda (A) es función del flujo peatonal, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1, anterior.

2.3.2.3 Símbolos y leyendas

Los símbolos y leyendas se emplean para indicar al conductor maniobras permitidas, regular la circulación y advertir sobre peligros. Se incluyen en este tipo de demarcación flechas, señales como CEDA EL PASO y PARE y leyendas como LENTO, entre otras.

Figura 7. Símbolos y leyendas

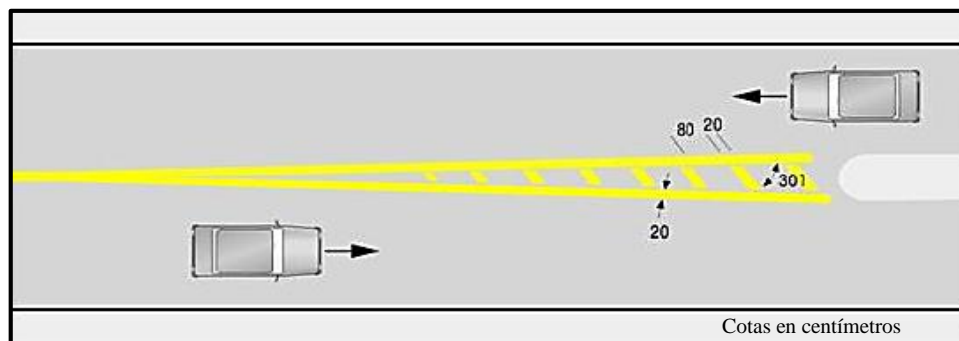


Fuente: https://ar.pinterest.com/andru_la4decadas/simbolos-de-transito/

2.3.2.4 Otras demarcaciones

Corresponden a demarcaciones como achurados, demarcaciones de tránsito divergente y convergente, distanciadores, etc. En este caso no es posible agruparlas por sus características geométricas, dado a que ninguna de sus formas o líneas predomina sobre las otras.¹

Figura 8. Demarcación tipo achurado



Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

¹ (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

2.4 TIPOS DE PINTURA DE DEMARCACIÓN VIAL

2.4.1 Pinturas acrílicas

Las pinturas acrílicas de demarcación vial se encuentran fabricadas en base a polímero acrílico pigmentado.

Estos polímeros son solubles en agua, por lo que la pintura acrílica puede ser fabricada en base acuosa o solvente.

2.4.1.1 Pintura acrílica base acuosa

La pintura acrílica en base acuosa tiene la particularidad de ser la alternativa más amigable con el medio ambiente con bajos niveles de VOC.

Requiere para su aplicación un equipo Airless con una presión sobre los 2500 psi. El tiempo de operación va a depender del fabricante.

2.4.1.2 Pintura acrílica base solvente

La gran ventaja de la pintura acrílica base solvente es su rápido tiempo de secado. Al utilizar solventes con menor punto de evaporación, el secado del mismo es más rápido que su alternativa acuosa.

Además, en un equipo de tecnología airless puede ser aplicada a menor presión que la alternativa en base acuosa.

2.4.2 Pinturas metil-metacrilato MMA

La pintura de demarcación vial Metil metacrilato, también conocida como MMA, plástico en frío, termoplástico en frío o 2 componentes.

Su aplicación debe realizarse con un equipo airless especializado capaz de realizar la mezcla del material.

Esta pintura se basa en resinas metil meta acrílicas reactivas curadas con peróxido.

La ventaja de este sistema es su rápido tiempo de operación y alta durabilidad de la pintura.

2.4.3 Pinturas termoplásticas

La pintura termo plástica de demarcación vial es un tipo de pintura en polvo. Antes de ser aplicada debe ser calentada para transformarla a estado líquido para homogeneizarla y poder aplicar.

Al aplicarla, esta se enfría y queda en las condiciones adecuadas para soportar el tráfico.

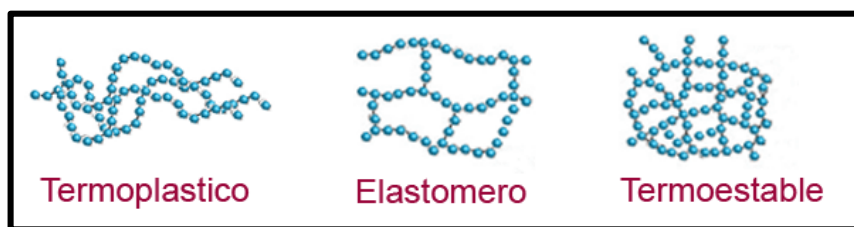
La pintura termo plástica tiene la ventaja que se aplica en espesores mayores a las alternativas acrílicas, permitiendo así una mayor vida útil.²

2.5 MATERIAL TERMOPLÁSTICO

Los termoplásticos hacen referencia al conjunto de materiales que están formados por polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares o fuerzas de Van der waals, formando estructuras lineales o ramificadas.

Un material termoplástico lo podemos asemejar a un conjunto de cuerdas enredadas que tenemos encima de una mesa, cuanto mayor sea el grado de enredo de las cuerdas mayor será el esfuerzo que tendremos que realizar para separar las cuerdas unas de otras dado a que el rozamiento que se produce entre cada una de las cuerdas ofrece resistencia a separarlas, en este ejemplo las cuerdas representa a los polímeros y el rozamiento representa las fuerzas intermoleculares que los mantiene unidos.

Figura 9. Representación de los polímeros y el rozamiento



Fuente: <https://www.losadhesivos.com/termoplastico.html>

En función del grado de las fuerzas intermoleculares que se producen entre las cadenas poliméricas, estas pueden adoptar dos tipos diferentes de estructuras, estructuras amorfas

² (APV.S.A., 2016)

o estructuras cristalinas, siendo posible la existencia de ambas estructuras en un mismo material termoplástico.

- Estructura amorfa: Las cadenas poliméricas adquieren una estructura liada, semejante a de la un ovillo de hilos desordenados, dicha estructura amorfa es la responsable directa de las propiedades elásticas de los materiales termoplásticos.
- Estructura cristalina: Las cadenas poliméricas adquieren una estructura ordenada y compacta, se pueden distinguir principalmente estructuras con forma lamelar y con forma micelar. Dicha estructura cristalina es la responsable directa de las propiedades mecánicas de resistencia frente a esfuerzos o cargas así como la resistencia a las temperaturas de los materiales termoplásticos.³

2.5.1 Materiales termoplásticos para señalización vial

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

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

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

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

³ (Termoplásticos, 2019)

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

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

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

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

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

2.5.1.1 Termoplásticos aplicables por pulverización (spray plásticos)

En este modo de aplicación la masa de material previamente calentada (180°C a 220°C), se aplica pulverizada como una pintura líquida con pistolas especiales, produciendo un espesor de película que suele estar comprendido entre 1,2 y 1,7 mm,

al tiempo que se proyectan a presión microesferas de vidrio que deben penetrar adecuadamente para asegurar la retro-reflexión inicial.

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

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

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

2.5.1.2 Termoplásticos aplicables por extrusión

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

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

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

vibraciones que producen cuando los vehículos pasan sobre ellas, lo que advierte de una posible salida de la calzada.

Las líneas del borde de la calzada dotadas de señalización en relieve, han puesto de manifiesto su gran contribución a la seguridad vial por el efecto sonoro y de vibración que producen cuando se circula sobre ellas, de manera que estudios de seguridad vial realizados en tramos de carreteras a los que se ha dotado de estos dispositivos, han puesto de manifiesto una reducción de los accidentes por salida de la calzada sin intervención de otros vehículos.⁴

2.6 IMPRIMACIÓN

Si la superficie tuviese material pétreo al descubierto, ya sea por ser de concreto de cemento, o porque el pavimento asfáltico se encontrare con déficit de bitumen, se deberá utilizar la imprimación recomendada por el proveedor. Este producto será especial para substratos cementicos o asfálticos. Deberá ser transparente o ambarino.

2.6.1 Características del imprimador

- Preferentemente será provisto por el mismo proveedor del material termoplástico (será la recomendada por el Proveedor). En caso de no ser así se tendrá que asegurar la adecuada compatibilidad entre ambos productos.
- Tendrá máxima adherencia con el sustrato a tratar.
- Deberá secar rápidamente, permitiendo aplicar el material termoplástico en un plazo máximo de treinta 30 minutos.
- Dejará una capa de índole termoplástica, es decir, que permitirá la soldadura con el material termoplástico fundido.
- El imprimador, una vez seco, no impartirá color a la demarcación terminada.⁵

2.7 MICROESFERAS DE VIDRIO

Las marcas viales deben satisfacer las necesidades individuales de cada tipo de vía, esto quiere decir que debemos escoger el material correcto según las características de tránsito de la ruta. No es lo mismo señalizar una autopista de alto tránsito, que las calles de una

⁴ (Ministerio de Fomento del Gobierno de España, 2012)

⁵ (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2016)

zona urbana, cada escenario supone una realidad distinta, por lo tanto también materiales diferentes. Si entendemos que el desgaste de una marca vial es por abrasión, entonces podemos concluir que a mayor tránsito, mayor será el desgaste, y menor la duración de la marca.

Una marca vial se compone de dos productos esenciales, el material para la demarcación vial y microesferas de vidrio. Ambos productos conviven adheridos uno al otro, y ambos a la vía.

Es vital la visibilidad de la demarcación no solo de día, sino de noche, donde es más propenso que ocurran accidentes si las marcas viales no son las adecuadas.

Figura 10. Materiales para la demarcación vial



Fuente: <https://www.signovial.pe/blog/microesferas-de-vidrio/>

Para que la demarcación vial sea efectiva es esencial la presencia de microesferas de vidrio las cuales hacen retro-reflectiva a la marca pues proporcionan visibilidad al conductor en el momento que son iluminadas por las luces de los vehículos y luego esta luz rebota y viaja directamente hacia los ojos del conductor.

Por más que las microesferas sean reflectivas y su uso extremadamente importante, estas tienen que ser correctamente aplicadas y sobre el soporte correcto o no tendrán razón de

ser. La marca donde se aplicarán las microesferas debe ser compatible con estas para permitir el anclaje de las mismas. Así mismo, hay que tener en cuenta el espesor de la marca para garantizar la duración de la demarcación, pero sobre todo para garantizar la reflectividad.

Figura 11 Aplicación por pulverización



Fuente: <https://www.signovial.pe/blog/microesferas-de-vidrio/>

En el caso de la pintura, si la capa es muy delgada, no tendrá buena adherencia con la microesfera, pues se irán desprendiendo rápidamente de la pintura y; por lo tanto, la marca vial perderá su reflectividad. El anclaje perfecto de las microesferas comprende un 60%.

2.7.1 Tipos de microesferas

2.7.1.1 Intermix

Son aquellas microesferas que se usan exclusivamente para la demarcación con material termoplástico.

2.7.1.2 Premix

Son aquellas microesferas que vienen incorporadas en la pintura.

2.7.1.3 Drop on

Son aquellas microesferas que se aplican por aspersion sobre la película de la pintura. Las Drop on pueden ser tipo I y tipo III.

a) Drop on tipo I

Son para carreteras con un índice de refracción de 1.5 y pueden ser microesferas de flotación o microesferas de adherencia.

Tabla 2. Especificaciones generales para el Drop on tipo I

Microesferas tipo I	Especificaciones
Granulometría	Entre 40 a 850 micrones
Redondez	Mínimo el 80%
Índice de refracción	Mínimo 1,5
Gravedad específica	Aproximadamente 2,5
Color/claridad	Las microesferas deben ser transparentes, sin color y libres de residuos de carbón
Inclusiones de aire	Menor al 5% por conteo visual
Tratamiento de flotación y adherencia	Con recubrimiento químico
Presentación	Bolsas de 50 lb o 25 kg
Empaque	Bolsa de papel multicapa resistente a la humedad

Fuente: (Ecuador, 2013)

- **Drop on tipo I de flotación**

Poseen un índice de refracción de 1.5, con un recubrimiento especial que hace que flote sobre la pintura. Como resultado, hay un gran porcentaje de microesferas expuestas, lo

cual aumenta la retro-reflectividad de la demarcación. Cabe resaltar que la aplicación puede ser manual o mecánica.

Figura 12. Drop on tipo I de flotación

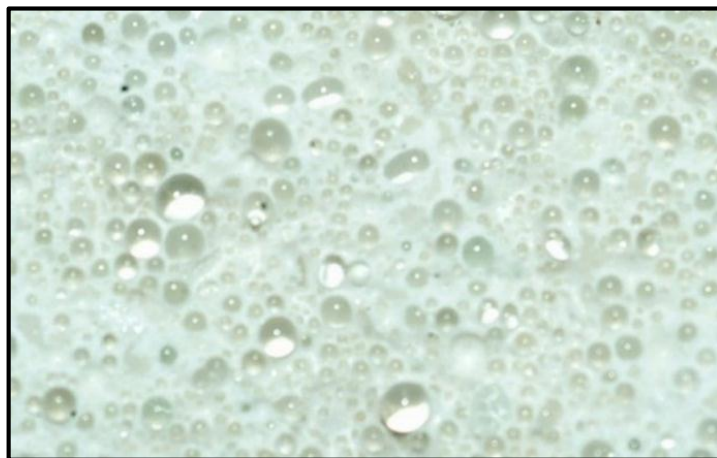


Fuente: <https://www.signovial.pe/blog/microesferas-de-vidrio/>

- **Drop on tipo I de adherencia**

Posee un recubrimiento especial para mayor adhesión y llega a tener un índice de refracción de 1.5 especial para agregar en pinturas alquídicas o de hule clorado para lograr una mayor adhesión de la microesfera a la pintura. Como resultado, se evitan pérdidas causadas por el peso de los vehículos y condiciones atmosféricas adversas.

Figura 13. Drop on tipo I de adherencia



Fuente: <https://www.signovial.pe/blog/microesferas-de-vidrio/>

b) Drop on tipo III

Son para aeropuertos con un índice de refracción de 1.9.

Tabla 3. Especificaciones generales del Drop on tipo III

Microesferas tipo III	Especificaciones
Granulometría	Entre 700 y 1700 micrones
Redondez	Mínimo el 85%
Índice de refracción	Mínimo 1,5
Gravedad específica	Aproximadamente 2,5
Color/claridad	Las microesferas deben ser transparentes, sin color y libres de residuos de carbón
Inclusiones de aire	Menor al 1% por conteo visual
Tratamiento de flotación y adherencia	Con recubrimiento químico
Presentación	Bolsas de 50 lb o 25 kg
Empaque	Bolsa de papel multicapa resistente a la humedad

Fuente: (Ecuador, 2013)

Existen factores de calidad a tomar en cuenta para una buena performance de la microesfera de vidrio dentro del sistema de pintura como por ejemplo:

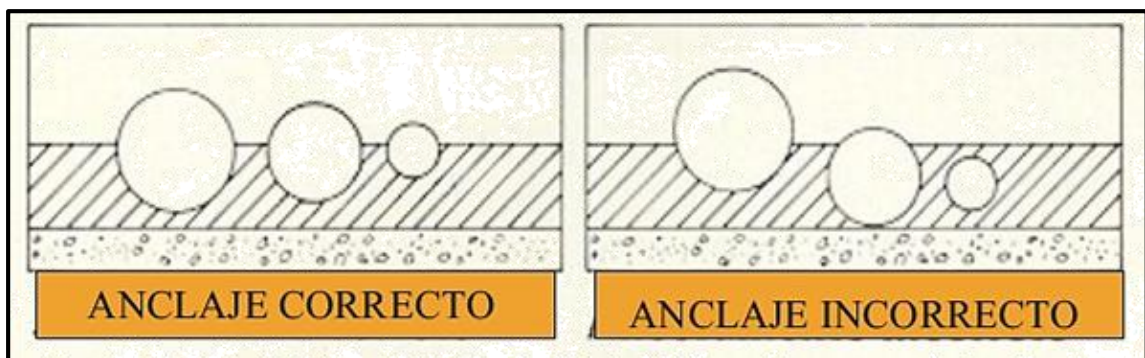
- Índice de refracción del vidrio
- Redondez de esferas
- Tamaño de esferas
- Anclaje
- Recubrimiento Específico

- Número de esferas expuestas
- Color de pintura
- Uniformidad en la distribución
- Calidad de la pintura

2.8 CALIBRACIONES DEL TERMOPLÁSTICO Y MICROESFERAS

Su recubrimiento debe ser uniforme, la velocidad del equipo debe ser constante y es necesario revisar el espesor sistemáticamente. Con respecto a las microesferas, se debe usar un dispositivo y metodología de calibración, revisar la tasa de aplicación dos veces en cada tanque y también la consistencia de la cantidad, por último, busca un anclaje de 60% o 50% como mínimo.

Figura 14. Anclaje de microesferas



Fuente: <https://es.slideshare.net/socinter/cl-conferencia-potters-excelencia-retroreflexion>

Podemos afirmar que el uso de microesferas es imprescindible para que las marcas viales sean visibles y como resultado evitar accidentes. A continuación una breve lista de sus beneficios más destacados:

- Aumenta el tiempo de vida útil de la pintura (2 veces a más).
- Aumento de coeficiente de fricción de las pistas.
- Mantienen la retroreflectividad cuando las marcas están oscurecidas por el caucho de las llantas.
- Duran más que los otros componentes del sistema.
- Reducen hasta el 22% de accidentes en la carretera.

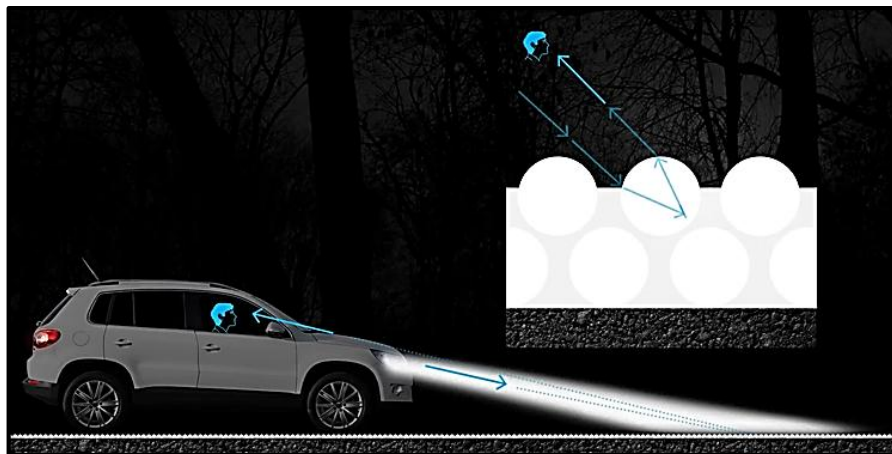
- Reduce del 40% al 79% las muertes por colisión.

2.9 RETRO-REFLECTIVIDAD

La Retro-reflectividad es la reflexión de los rayos que se reflejan en dirección opuesta del objeto emisor de estos. Esta es una medición que se toma en la señalización de manera nocturna. Se utiliza un equipo especial (Reflectómetro) que ayuda a simular la visión nocturna de un automovilista.

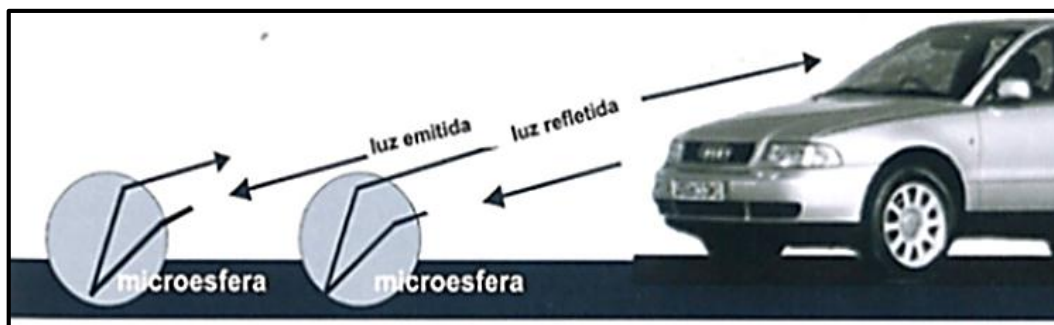
La retro-reflectividad depende del tipo de material de demarcación, la aplicación del sistema, el clima y el tipo de pavimento.⁶

Figura 15. Acción de la retro-reflectividad



Fuente: <https://www.signovial.pe/blog/microesferas-de-vidrio/>

Figura 16. Emisión y reflectancia



Fuente: <https://www.signovial.pe/blog/microesferas-de-vidrio/>

⁶ (Signo Vial una Compañía CINTAC y grupo CAP, 2016)

Los métodos para evaluar la retro-reflectancia durante el día son:

2.9.1 Método del microscopio o la lupa de aumento

Un microscopio iluminado muy económico puede ser usado para evaluar la densidad, distribución, y engarce de las microesferas inmediatamente después de su aplicación. Recuerde que el grado de engarce y la distribución solo puede ser verificado por inspección visual.

2.9.2 Método del retro-reflectómetro

Estos aparatos miden la visibilidad nocturna (coeficiente de luminancia retro reflejada) del material. Existen distintos tipos de equipos para medir la reflectancia de la demarcación. Las mediciones con aparato se hacen durante el día sobre un pavimento limpio y seco. Ante la carencia de un retro-reflectómetro, es posible utilizar muestras patrón calibradas como elementos de comparación visual como:

2.9.2.1 La técnica de la luz de sol / sombra

El sol deberá estar entre 20 y 80 grados sobre el horizonte (ni amanecer ni mediodía). Hacer una sombra sobre la demarcación a observar.⁷

2.9.3 Factores que afectan las mediciones de la retro-reflectancia

- Área de medición húmeda o con suciedad.
- Posición del reflectómetro.
- Entrada de luz en la medición.
- Calibración del reflectómetro.
- Humedad relativa (empañado de elementos).
- Marca, área de medición, tipo de lentes y otros, pueden generar desviaciones de hasta 10%.⁸

⁷ (Calvo, 2013)

⁸ (Ecuador, 2013)

2.9.4 Visibilidad nocturna (retro-reflectancia)

2.9.4.1 Demarcaciones planas

Las demarcaciones deberán ser visibles en cualquier período del día y bajo toda condición climática, por ello se confeccionan con materiales apropiados, como pinturas que junto a micro- esferas de vidrio, se someten a procedimientos que aseguran su retro-reflexión.

Esta propiedad, permitirá que las micro-esferas sean visibles en la noche al ser iluminadas por las luces de los vehículos, ya que una parte significativa de la luz que reflejan retorna hacia la fuente luminosa.

Estas demarcaciones deberán cumplir con los valores mínimos indicados en Tabla 4.

Tabla 4. Retro-reflectancia Inicial a 30 días (mcd/lux/m²)

Ángulos		Colores	
Iluminación	Observación	Blanco	Amarillo
3,50°	4,50°	300,00	180,00
1,24°	2,29°	200,00	120,00

Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

Los valores mínimos de retrorreflectancia que se deberán cumplir para que se deba ejecutar el repintado, corresponderán a los indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Retro-reflectancia para repintados

Ángulos		Colores	
Iluminación	Observación	Blanco	Amarillo
3,50°	4,50°	120,00	95,00
1,24°	2,29°	90,00	70,00

Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

2.9.5 Visibilidad diurna (color y factor de luminancia)

2.9.5.1 Color demarcaciones planas

Las líneas longitudinales y marcas deben ser blancas o amarillas.

- **Amarillo:** El color amarillo define la separación de corrientes de tránsito de sentido opuesto en caminos de doble sentido con calzadas de uno o varios carriles y líneas de barrera. Este color se utiliza también en las islas divisorias y en las marcas para prevenir el bloqueo de una intersección.
- **Blanco:** El blanco define la separación entre tránsito en el mismo sentido y la demarcación de borde de calzada, pasos peatonales y espacios de estacionamiento. Las flechas, símbolos y letras serán de color blanco.

Cuando se requiera dar contraste a las líneas blancas o amarillas podrá emplearse líneas negras adyacentes a ellas y de ancho igual a $\frac{1}{2}$ del ancho de la línea, excepto para marcas viales en donde se implementarán líneas negras que sobresalgan 5 cm.

Los colores están definidos por las coordenadas cromáticas del Sistema Normalizado CIE 1931, según Tabla 6, debiendo cumplir lo siguiente:

Tabla 6. Coordenadas cromáticas demarcaciones planas

Color	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Blanco	0.355	0.355	0.305	0.305	0.285	0.325	0.335	0.375
Amarillo	0.494	0.427	0.545	0.455	0.465	0.535	0.427	0.483

Fuente: (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

2.9.6 Contraste con el pavimento

Para la adecuada visibilidad diurna de una demarcación se requiere que esta se destaque de la superficie de la vía, para lo cual, se define una relación de contraste mínima entre la demarcación y el pavimento. Con frecuencia el color original del pavimento tiende a cambiar con el tiempo, por el desgaste de la superficie y en el caso de pavimentos de

asfalto, por el envejecimiento del ligante. De hecho, los pavimentos de mezcla asfáltica tienden, con el tiempo, a cambiar de color negro a gris.

La relación de contraste mínima R_c es 1,7; donde:

$$R_c = (\beta \text{ demarcación} - \beta \text{ pavimento}) / \beta \text{ pavimento}$$

Donde β corresponde al factor de luminancia. Este factor, se determinará mediante equipos especiales (espectrofotómetro, integrador, colorímetro triestímulo, prensa mecánica para polvo).

Los valores mínimos correspondientes al factor de luminancia para la pintura de demarcación son:

Pintura blanca $\beta = 0,40$

Pintura amarilla $\beta = 0,20$

Para lograr el contraste entre la demarcación y el pavimento, existe la alternativa de aplicar un color negro como fondo de la demarcación, el cual deberá exceder el ancho de la demarcación en al menos 5 cm en todas las direcciones.⁹

2.10 TEMPERATURA MÁXIMA SEGÚN EL COLOR

La temperatura máxima para el color blanco es de 220°C y para el color Amarillo es 200°C. En lo posible, se debe tratar de no alcanzar estas temperaturas. La agitación es importante para todo termoplástico fundido. Una agitación insuficiente provoca que las microesferas de vidrio mezcladas en la masa se asienten, provocando defectos de calidad. Frecuentemente, el pliego o el fabricante del material, exigen el uso de Selladores o Imprimaciones para pavimentos en condiciones marginales. El equipo usado para demarcar, son pequeños demarcadores auto-propulsados, que pueden generar líneas triples y tienen la ventaja que pueden ser transportadas fácilmente en un camión liviano.

2.11 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (PÉNDULO DE FRICCIÓN)

Al igual que la capa de rodadura, la demarcación plana debe presentar una resistencia al deslizamiento suficiente para que los vehículos circulen sobre sin riesgo. Esta condición

⁹ (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

está directamente relacionada con su coeficiente de rozamiento, ya que la resistencia al deslizamiento es producto de ese coeficiente por la fuerza normal que ejerce el vehículo al pasar sobre la demarcación.

Considerando lo anterior, el coeficiente de rozamiento de las demarcaciones planas debe ser mayor o igual a 0,45, según mediciones con el Péndulo Británico (TRRL).¹⁰

2.12 CONTROL DE APLICAR MATERIAL TERMOPLÁSTICO

La clave para obtener marcas viales de calidad está en la ejecución de una correcta puesta en obra. Para ello es fundamental aplicar procedimientos de control:

2.12.1 Operaciones previas a la aplicación

2.12.1.1 Presencia de humedad en el pavimento

Tiene un efecto muy negativo en la adherencia de los materiales y es crítica en el caso de los termoplásticos. La presencia de humedad puede producirse si la superficie está próxima al punto de rocío. La aplicación de una marca vial se efectúa, cuando la temperatura del pavimento o marca vial existente, supere al menos en tres grados Celsius (3°C) al punto de rocío. Con la tabla 7, se puede calcular el punto de rocío para una temperatura y humedad relativa dadas.

Figura 17. Burbujas en la superficie por humedad profunda en el concreto



Fuente: (Ecuador, 2013)

¹⁰ (ABC, Manual de dispositivos de control de tránsito, 2014)

Tabla 7. Determinación del punto de rocío

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

Fuente: (Ministerio de Fomento del Gobierno de España, 2012)

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

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

Es preciso prestar atención a los repintados: las zonas blancas tienen temperaturas más frías que las negras y también es el caso de bandas laterales próximas a zonas verdes y en umbría, sobre todo a primeras horas de la mañana; a veces simplemente pasar el dedo sobre ellas acusa la presencia de humedad.

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

2.12.1.2 Eliminación de marcas viales

Para la eliminación de las marcas viales, ya sea para facilitar la nueva aplicación o en aquellos tramos en los que la aplicación haya sido deficiente, debe utilizarse alguno de los siguientes procedimientos de eliminación:

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

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

2.12.1.3 Premarcaje y replanteo

El premarcaje consiste en una línea de referencia, bien continua o bien mediante tantos puntos como se estimen necesarios, separados entre sí una distancia no superior a dos metros (2 m). Por replanteo se entiende la ubicación, previa a su pintado, de las líneas longitudinales y marcas transversales (flechas, letreros, símbolos, etc.) sobre la carretera.

Un error obligará a la eliminación de la marca vial, siendo siempre más difícil y costosa que la propia aplicación.

2.12.1.4 Limpieza

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

2.12.1.5 Preparación de la superficie “Imprimación”

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

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

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

2.12.1.6 Condiciones ambientales

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

2.12.1.7 Temperatura de aplicación

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

La aplicación por pulverización (spray plásticos) requiere temperaturas próximas a 200°C y la aplicación por extrusión requiere temperaturas próximas a 180°C.

Una regla fácil de seguir es que, como mínimo, la temperatura del material sumada a la del pavimento sea respectivamente, de 220°C y 200°C para la pulverización y la extrusión.¹¹

2.12.2 Ejecución

2.12.2.1 Características de los equipos

Se deberá utilizar equipos en buen estado de funcionamiento y en la cantidad suficiente para realizar la totalidad del volumen de la obra, dentro del plazo de vigencia del presente contrato.

Cada equipo de aplicación deberá ser sometido a la inspección de obra para la verificación de su estado, en el momento en que se lo requiera.

El equipo mínimo con que deberá contar cada unidad operativa para las tareas, será el siguiente:

- a) **Equipo mecánico para barrido y limpieza del pavimento:** Estará constituido por cepillo mecánico rotativo de ancho mínimo 0,50 m y por sistema de soplado de acción posterior al cepillo, de un caudal y presión adecuados para asegurar una perfecta limpieza del polvo que no saque el cepillo. la boca de salida de aire será orientada a los efectos de arrojar el polvo en la dirección que no perjudique el uso del resto de la calzada.
- b) **Equipo para la fusión del material:** se utilizarán uno o más recipientes de calefacción indirecta agitados mecánicamente en forma continua, para mantener un fundido perfectamente homogéneo.

Deberán poseer un vertedero lateral para el uso y aplicación del material. Poseerán termómetros para medir la temperatura del material termoplástico. El rango de medición de aquellos será tal que a la temperatura indiquen más allá de la media escala. La apreciación mínima será de un dos por ciento (2%) del rango.

¹¹ (Ministerio de Fomento del Gobierno de España, 2012)

Se recomienda el uso de termostatos a los fines de mantener la temperatura de la masa termoplástica a un nivel uniforme, equipos manuales o autopropulsados para la aplicación de la pintura de demarcación y el sembrado de microesferas:

- **Equipo manual:** compuesto por vehículo de carga con los elementos necesarios para la preparación de la masa termoplástica y zapatas de aplicación. Estos elementos podrán ser usados en forma independientes (manual) o adosados a recipientes intermediarios móviles (calderetas).
- **Equipo autopropulsado:** el que lleva las zapatas de aplicación incorporadas al vehículo. Deberá poseer un sistema de calentamiento indirecto para la aplicación del material termoplástico que mantenga el material a la temperatura correcta, provisto de agitador mecánico y dispositivos para el sembrado inmediatamente posterior de micro esferas de vidrios, en anchos de franja y dosificaciones adecuadas. Deberá poseer un mecanismo de accionamiento que permita la aplicación de líneas continuas o intermitentes. Tendrá además indicador de temperatura de la masa termoplástica, de calidad similar a los descritos en el punto b)
- c) **Equipo de elementos de seguridad retro-reflectivos:** chalecos de seguridad, banderillas, conos, cintas, balizas luminosas, señales y todo elemento que sea necesario para garantiza la seguridad del personal de obra, de inspección y del público en general.
- d) **Elemento de seguridad contra incendios y derrames de materiales a altas temperaturas:** de su personal tales como guantes, calzado, vestimenta adecuada, protección ocular y botiquín provisto de elementos de primeros auxilios para atender quemadura.

Los equipos c) y d) podrán indistintamente encontrarse montados en una sola unidad motriz en forma conjunta, bien en forma individual en unidad motriz en forma conjunta o bien en forma individual en unidades separadas

2.12.2.2 Secuencia de trabajos

- 1) El replanteo de la señalización horizontal se indica con pintura de corta durabilidad, tiza u otro elemento fácilmente removible.

- 2) El sustrato será cepillado, soplado y secado a efectos de lograr la eliminación de toda materia extraña a la imprimación. La Inspección controlará que este trabajo se ejecute en forma eficiente, no autorizando la aplicación de material termoplástico en las zonas preparadas en forma deficiente. Para la ejecución de estos trabajos se usarán equipos mecánicos.
- 3) La aplicación propiamente dicha se efectuará por medio de una zapata y la superficie a obtener será de ancho uniforme, de bordes bien definidos, rectos y nítidos, libre de burbujas, grietas, surcos, ondulaciones superficiales, alteraciones de color, o cualquier otra anomalía proveniente del material.

Simultáneamente con la aplicación del material termoplástico se procederá al sembrado de esferas de vidrio. Dicha operación se sincronizará de tal forma que las esferas no se sumerjan totalmente ni sufran falta de adherencia por una temperatura superficial incorrecta del material termoplástico.

Además se deberán dispersar uniformemente en toda la superficie de la marca. Si fuese necesario para la obtención inmediata de la reflectancia adecuada, se deberá incrementar la cantidad a sembrar mínima por m² especificada.

Si las esferas a sembrar están húmedas fluyen con dificultad motivo por el cual la Inspección podrá exigir su reemplazo.

2.12.2.3 Inspección

Las operaciones que se llevarán a cabo para control de calidad de aplicación son las siguientes:

- a) Se constatará si el color del material a fundir para su instalación (blanco, verde y amarillo) es similar al indicado en especificaciones técnicas para señalización horizontal: material termoplástico reflectante aplicado por extrusión y se verificará el estado de conservación de las esferas.
- b) Se tomarán las muestras del material termoplástico, imprimador y esferas de vidrio desde el recipiente donde serán aplicados.
- c) Se verificará el correcto funcionamiento del equipo de limpieza y que la zona a demarcar quede limpia de polvo sustancias grasas y humedad.

- d) El imprimador deberá estar correctamente aplicado, en cuanto a su alineación respecto de las marcas a ejecutar, la uniformidad de su espesor y que esté totalmente seco antes de cubrirlo con material termoplástico.
- e) Se verificará periódicamente las temperaturas de la masa termoplástica en sus recipientes de fusión.
- f) Durante la aplicación de los materiales se controlará el ancho, espesor y buena terminación de las marcas.
- g) Reflectancia: Después de realizada la demarcación, se realizará la inspección visual de la reflexión, tanto en forma nocturna como diurna.¹²

2.13 MANTENIMIENTO SE LA SEÑALIZACIÓN

Todas las marcas en el pavimento deberán mantenerse en todo momento en buenas condiciones para asegurar su legibilidad y visibilidad, la frecuencia con que se pinten las líneas depende del tipo de superficie, la composición y tasa de aplicación de la pintura, el clima y el volumen del tránsito. Se debe tener especial cuidado en las líneas segmentadas, de pintar sobre las viejas con mayor precisión, de lo contrario estas se apreciarán cada vez más enmendadas después de varias pintadas.¹³

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

- a. Inventariar las marcas viales objeto de mantenimiento.
- b. Estimar las causas de fallos observados (desgaste, falta de adherencia, suciedad etc.).
- c. Comprobar el cumplimiento en lo que se refiere a la geometría.
- d. Estimar las necesidades de pre-marcaje y replanteo (si las marcas han desaparecido o no están correctamente implantadas).
- e. Estimar las necesidades de determinación de visibilidades (las condiciones de visibilidad de las carreteras pueden cambiar).
- f. Determinar las necesidades de rebordar de negro la marca vial (cuando el factor de luminancia del pavimento es superior a 0,15).

¹² (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2016)

¹³ (Calvo, 2013)

- g. Estimar las necesidades de levantamiento de capas, cuando existe un número excesivo de ellas que hagan aconsejable su eliminación previa (se recomienda la eliminación previa cuando existen 5 capas de pintura o 3 de productos de capa gruesa).
- h. Estimar las necesidades de limpieza sistemática y profunda del pavimento, en particular, en las marcas viales laterales de carreteras sin arcén.
- i. Estimar las necesidades de señalización temporal y si esta debe ser eliminable o no.¹⁴

¹⁴ (Ministerio de Fomento del Gobierno de España, 2012)

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA DEL

MATERIAL TERMOPLÁSTICO EN

SEÑALIZACIÓN VIAL HORIZONTAL

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO EN SEÑALIZACIÓN VIAL HORIZONTAL

3.1 UBICACIÓN DE LA APLICACIÓN PRÁCTICA

La aplicación práctica del pintado se señalética horizontal con material Termoplástico, se realizó sobre pavimento flexible de la intersección entre las calles Federico Ávila e Ingavi del Barrio Virgen de Fátima de la ciudad de Cercado – Tarija, con coordenadas de latitud: $21^{\circ}32'12.71''S$ y longitud: $64^{\circ}43'18.14''O$, la cual carece de señalización vial horizontal.

Figura 18. Ubicación en google maps de la intersección Federico Ávila e Ingavi



Fuente: Elaboración propia

3.2 UBICACIÓN Y PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES

Los materiales que se utilizaron, deben cumplir ciertas especificaciones bajo las normativas vigentes para toda Bolivia, como ser las Normas ABC, ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto se utilizó materiales importados de Argentina de la compañía Cristacol S.A. pertenecientes a “ENNIS-FLINT, INC” (todos los derechos reservados) donde cumplen ya con las normas vigentes.

La adquisición al Interior de Bolivia de los materiales como el “Termovial XB H1”, “Microlux” y el “Primex”, que se utilizó para la realización de este proyecto de aplicación fueron comprados de la empresa importadora, exportadora Vezla S.R.L. con ubicación en la ciudad de Cochabamba, Av. Blanco Galindo Km. 1 #1447(Acera Sud) Edificio Vezla planta baja zona Hipódromo.

Figura 19. Ubicación de la empresa Vezla S.R.L



Fuente: Elaboración propia

3.3 INSPECCIÓN TÉCNICA PRELIMINAR

Todos los proyectos tienen particularidades que requieren ser tomados en cuenta para definir el plan de trabajo a nivel técnico y operativo. Es importante y se recomienda que los técnicos involucrados en la obra, realicen un recorrido observando los siguientes detalles.

- Estado del pavimento.
- Deterioro de la pintura antigua.
- Condiciones climática.

3.3.1 Estado del pavimento

En el proceso de la inspección técnica se pudo observar que el pavimento flexible contaba con algunos pequeños hundimientos cerca a las aceras, que por su magnitud y ubicación a los extremos donde no obstaculiza el pintado de cebras, no se consideró un problema perjudicial para realizar la demarcación con termoplástico.

Así también se observó el poco desgaste por abrasión del pavimento debido al recapamiento que se realizó año atrás, considerando estos detalles se dio el visto bueno para poder realizar la demarcación de paso peatonal.

Es importante mencionar que para prevalecer la vida útil del material, es recomendable no realizar la demarcación en pavimentos que presenten hundimientos de gran magnitud, piel de cocodrilo, corrugaciones, grietas, ahuellamiento, desgastes notables por abrasión, etc. Si este fuera el caso es preferible realizar una restitución del pavimento mediante un recapamiento o alguna alternativa de reparación recomendada de acuerdo a la falla existente.

Posteriormente recién se podrá ejecutar la respectiva demarcación, así no sufrir pérdidas de material y poder obtener el máximo rendimiento del mismo.

3.3.2 Deterioro de pintura antigua

Se pudo percatar, que la intersección de las calles Federico Ávila e Ingavi no tenía rastros de algún antiguo marcado de paso peatonal, debido al recapamiento del pavimento ejecutado dos años atrás, por lo siguiente se procede a dimensionar del paso peatonal

basándonos en el “Manual de dispositivos de control de Tránsito” de la ABC actualmente vigente en nuestro País.

A continuación se puede observar desde distintos ángulos la intersección en la cual se ejecutara la aplicación práctica de este proyecto:

Figura 20. Vista 1 de la Intersección desde la calle Ingavi



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Vista 2 de la Intersección desde la calle Ingavi



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Vista 1 de la Intersección desde la calle Federico Ávila



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Vista 2 de la Intersección desde la calle Federico Ávila



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Condiciones climáticas de la zona

Es necesario conocer la situación climática de la zona y la época en la que se pretende realizar demarcaciones con este material, para poder hacer una buena planificación de actividades y prever con anticipación los problemas de altas precipitaciones o contenido de humedad altos. Situaciones en las que no se aconseja realizar la aplicación con esta

pintura debido a que estas situaciones climáticas interfieren en la adherencia del termoplástico con el pavimento flexible.

El día de la aplicación práctica se realizó el lunes 14 de diciembre del 2020, a las 20:00 hrs donde se contaba con una temperatura ambiente en horas de la noche de 20°C, una humedad relativa de 66% y probabilidades de lluvia de 41%.

3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL PASO PEATONAL

Para la determinación de las dimensiones del paso peatonal, se realizó una pequeña aforación de peatones sobre la calle Federico Ávila.

Se consideró como día de aforo un sábado, debido a la existente Feria de Villa Fátima de Productos Orgánicos, que atrae un mayor número de peatones trascurriendo por la intersección en estudio.

Tabla 8. Aforación de peatones

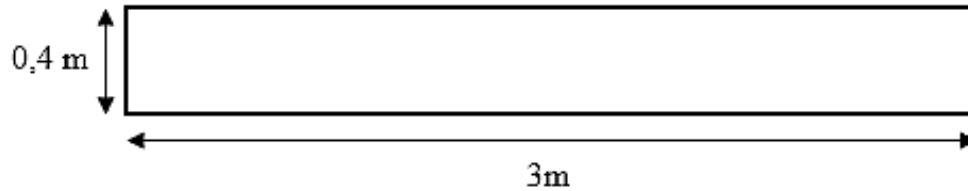
Horas de aforo	N° de peatones /h
11:00 – 12:00	328
14:00 – 13:00	268
16:00 – 17:00	460
18:30 – 19:30	440

Fuente: Elaboración propia

Con los datos observados de la tabla 8 podemos concluir que nuestro flujo peatonal es menor a 500 peatones/h, por lo que el ancho mínimo según lo establecido en el manual de la ABC es de 2 m.

Considerando este dato se establece realizar el paso peatonal con dimensiones de cebra de:

Figura 24. Dimensiones optadas para la franja de la cebra



Fuente: Elaboración propia

Un largo de 0,4 m por 3 m de ancho, que es el tamaño general de todas las demarcaciones de cebras en la ciudad de Tarija, tomando en cuenta la estética conforme al ancho de las calles, las cuales son:

- Ancho de calzada calle Federico Ávila = 7 m
- Ancho de calzada calle Ingavi = 10,1 m

El ancho del borde de banda será 0,50 m como lo establece el manual de la ABC y se adoptara la separación entre cebras de la misma medida de largo de una cebra 0,4 m.

El diseño general de la intersección se lo puede apreciar en el anexo XI.

3.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y OPERATIVAS.

Las especificaciones técnicas y operativas del proyecto, se detallaron y definieron después de la inspección técnica a la zona de aplicación. Para ello se procede a establecer las especificaciones de las propiedades de todos los materiales a usar y realizar la caracterización de los mismos mediante sus respectivos ensayos en laboratorio, para verificar su cumplimiento

3.5.1 Especificaciones técnicas de la imprimación acrílica transparente “Primex TSL023206”

3.5.1.1 Descripción

El Primex® TSL023206 es un producto de alta performance. Su fórmula, en base a resinas acrílicas aditivas la hacen resistente a una gran variedad de condiciones climáticas y aplicaciones ya sean rutas, autopistas o ambientes urbanos. Primex® mejora notablemente la adherencia del producto suprayacente. Especialmente formulado para ser utilizado

como imprimación de pintura en frío (acrílica) y pintura termoplástica. Primex® se aplica en pavimentos de asfalto u hormigón.

3.5.1.2 Ventajas

- ✓ Durabilidad.
- ✓ Buena adherencia sobre asfalto y hormigón.
- ✓ Rápida liberación al tránsito.
- ✓ Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo.
- ✓ Resistencia a los elementos climáticos.
- ✓ Mantiene sus propiedades mecánicas tanto en climas fríos como en climas cálidos.
- ✓ Facilidad de aplicación.
- ✓ Mejora la adherencia en sustratos con polvo residual.
- ✓ No requiere dilución para ser aplicado (listo para aplicar con soplete).

3.5.1.3 Embalaje y envasado

En latas o pails metálicos que no alteran las cualidades del producto ni se ven atacados por este.

3.5.1.4 Aplicación

- ✓ Aplicación por atomización o rodillo
- ✓ Espesor húmedo de aplicación recomendado: 250 µm.
- ✓ Rendimiento a espesor recomendado: 4 m²/l.
- ✓ Se debe aplicar sobre superficie libre de polvo, partículas sueltas, grasas, aceites y restos de combustibles.
- ✓ Una vez aplicado el producto dejar secar adecuadamente antes de aplicar la pintura.

3.5.1.5 Almacenamiento

Almacenar en lugar fresco y seco al resguardo de fuentes de calor o ignición. A una temperatura entre 5°C y 35°C.

Tabla 9. Datos técnicos típicos

Propiedad	Rango
Densidad	0,89 - 0,94 g/cm ³
Color	Transparente/Ámbar, puede presentar ligera turbidez.
% Sólidos	Entre 39% y 44%
Viscosidad Copa Ford N°4, 20°C	10 - 25 segundos

Fuente: (Especificación técnica PRIMEX® TSL023206, 2020)

Nota: estos datos son de referencia y corresponden a los valores típicamente obtenidos (Véase anexo II)

3.5.2 Ficha técnica microesferas de vidrio “Microlux”

Las perlas de vidrio Microlux®, cumplen con las siguientes especificaciones:

3.5.2.1 Microesferas tipo I AASHTO M247

Tabla 10. Función física y química microesferas tipo I

Artículo	Estándar
Gravedad específica g / cm ³	2,4 – 2,6
Índice de refracción	≥ 1,5
Perlas esféricas (%)	> 80

Fuente: (Vezla Import Export, 2020)

Tabla 11. Análisis del tamiz de las microesferas tipo I

Malla (micrómetro)	Porcentaje que pasa (%)
850	97-100
600	70-90
300	15-35
150	0-5

Fuente: (Vezla Import Export, 2020)

3.5.2.2 Microesferas tipo II AASHTO M247

Tabla 12. Función física y química microesferas Tipo II

Artículo	Estándar
Gravedad específica g / cm ³	2,4-2,6
Índice de refracción	≥1,5
Perlas esféricas (%)	> 70

Fuente: (Vezla Import Export, 2020)

Tabla 13. Análisis del tamiz de las microesferas tipo II

Malla (micrómetro)	Porcentaje que pasa (%)
600	100
425	90 -100
300	50-70
180	0-5

Fuente: (Vezla Import Export, 2020)

3.5.2.3 Microesferas tipo III AASHTO M247

Tabla 14. Función física y química microesferas tipo III

Artículo	Estándar
Gravedad específica g / cm ³	2,4-2,6
Índice de refracción	≥1,5
Perlas esféricas (%)	> 80

Fuente: (Vezla Import Export, 2020)

Tabla 15. Análisis del tamiz de las microesferas tipo III

Malla (micrómetro)	Porcentaje que pasa (%)
1700	100
1400	95-100
1180	80-95
1000	10-40
850	0-5
710	0-2

Fuente: (Vezla Import Export, 2020)

La información técnica y las recomendaciones contenidas en este documento se basan en el conocimiento actual. Esta especificación de producto está destinado a proporcionar información general sobre nuestros productos y su aplicación. En consecuencia, la información anterior debe no debe tomarse literalmente. Nos reservamos el derecho a realizar cambios de acuerdo con el progreso tecnológico. (Verse anexo II)

3.5.3 Especificación técnica del termoplástico para extrusión Termovial XB H1

3.5.3.1 Descripción

Termovial® XB H1 es un producto para demarcación vial de alta performance apto para pavimentos asfálticos u hormigones. Termovial® XB H1 formulado en base a resinas especiales es resistentes a los álcalis del hormigón. El producto ofrece una retro-reflectividad sostenida en el tiempo gracias a la renovación de la capa superficial.

3.5.3.2 Ventajas

- ✓ Durabilidad.
- ✓ Buena adherencia sobre asfalto y hormigón.
- ✓ Rápida liberación al tránsito.
- ✓ Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo.
- ✓ Resistencia a los elementos climáticos.
- ✓ Facilidad de aplicación. Gracias a su estudiada formulación, la viscosidad a la temperatura de aplicación es la adecuada para una correcta nivelación, definición de bordes, adherencia al sustrato y a las microesferas sembradas.

- ✓ Nuestras modernas instalaciones de producción y control permiten obtener productos de calidad continua. Gracias a las características de nuestro proceso productivo el material en polvo presenta una homogeneidad superior respecto del mercado para un mismo pallet.
- ✓ Conservación del color a la temperatura de aplicación y luego de aplicado gracias a la tecnología de resinas y pigmentos utilizada.

3.5.3.3 Embalaje y envasado

- ✓ Sacos plásticos con formulación en polvo, que permite una fusión más rápida y la incorporación de los envases plásticos (de características termodegradables) a la mezcla fundida.
- ✓ Bolsos por pedido.

Tabla 16. Tipo, uso, condiciones de aplicación Termovial XB H1

Producto, Código	Característica especiales/uso	Dispositivo /uso	Espesor mm	Consumo kg/m ²	Sembrado g/m ²	Temp. Aplic. °C
XB H1 TDC551H901	Uso general, líneas longitudinales, líneas transversales	Zapata de arrastre,	3 mm	6 - 7 kg/m ² nominal	300-500 g/m ²	190-210
		Cabezal de cortina	2,3 mm	5 kg/m ² nominal		

Fuente: (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020)

3.5.3.4 Aplicación

- ✓ Se lo aplica en estado fundido, a una temperatura de entre 190°C y 210°C. A estas temperaturas tienen la consistencia adecuada para su aplicación. Al enfriarse en forma rápida, permite la liberación al tránsito con un mínimo entorpecimiento del mismo. El espesor aplicado es exactamente el obtenido, al no evaporarse solventes.
- ✓ Tanto en pavimentos asfálticos y de hormigón deberá utilizarse previamente nuestras Imprimaciones Primex® para garantizar una perfecta adherencia. En el caso de aplicación sobre hormigón, recomendamos la imprimación Primex® TDS279555.

- ✓ Las características de aplicación variarán según el modelo del equipo a utilizar, pero nuestra empresa puede brindarle asesoramiento técnico al usuario en todo lo necesario para una óptima terminación del producto aplicado.
- ✓ Además, para obtener una reflectancia inmediata al efectuar la aplicación, se deberán sembrar Microesferas tipo Drop-on antes que el producto se enfríe.

3.5.3.5 Almacenamiento

Almacenar en lugar fresco y seco al resguardo de fuentes de calor o ignición y del agua. A temperaturas entre 5°C y 35°C.

Tabla 17. Datos técnicos típicos Termovial XB H1

Propiedad	Valor típico	Método
Densidad	Entre 1,95 y 2,15 g/cm ³	Por desplazamiento en picnómetro, @20°C.
Color	Coordenadas cromáticas según tabla 18.	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D65.
Luminancia (Y)	Mayor a 75	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D65.
Índice de Amarilleo (YE) color blanco.	12 máximo	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D65.
% Ligante	18% mínimo.	ASTM D4797
Punto de Ablandamiento	95°C-110°C	ASTM D36
Viscosidad @200°C	8000-18000 cP	Viscosímetro Brookfield @10 RPM, Spindle 6.
Dureza Shore A	45°C: 55°- 85°; 60°C: 20°- 40°	ASTM D7735

Fuente: (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020)

Tabla 18. Coordenadas cromáticas blanco

N°	x	y
1	0,355	0,355
2	0,305	0,305
3	0,285	0,325
4	0,335	0,375

Fuente: (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020)

3.6 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MICROESFERAS DE VIDRIO “MICROLUX” TIPO I

Para la caracterización de las microesferas de vidrio, se utilizó las instalaciones del Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se realizaron los ensayos de:

3.6.1 Granulometría (AASHTO M-247)

La granulometría, permite determinar experimentalmente la distribución cuantitativa y gradación del tamaño de las partículas de los suelos como de cualquier material, con fines de analizar sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de las correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Para el ensayo de granulometría se cuenta con tres diferentes muestras de microesferas de vidrio para establecer un promedio.

Los tamices a utilizar para este ensayo son: tamiz N° 20, N°30, N°50 y N°100, se procura tener cuidado al realizar el ensayo, debido a que al ser un material de vidrio es resbaladizo y puede generarse grandes pérdidas.

Figura 25. Tamizado de las microesferas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

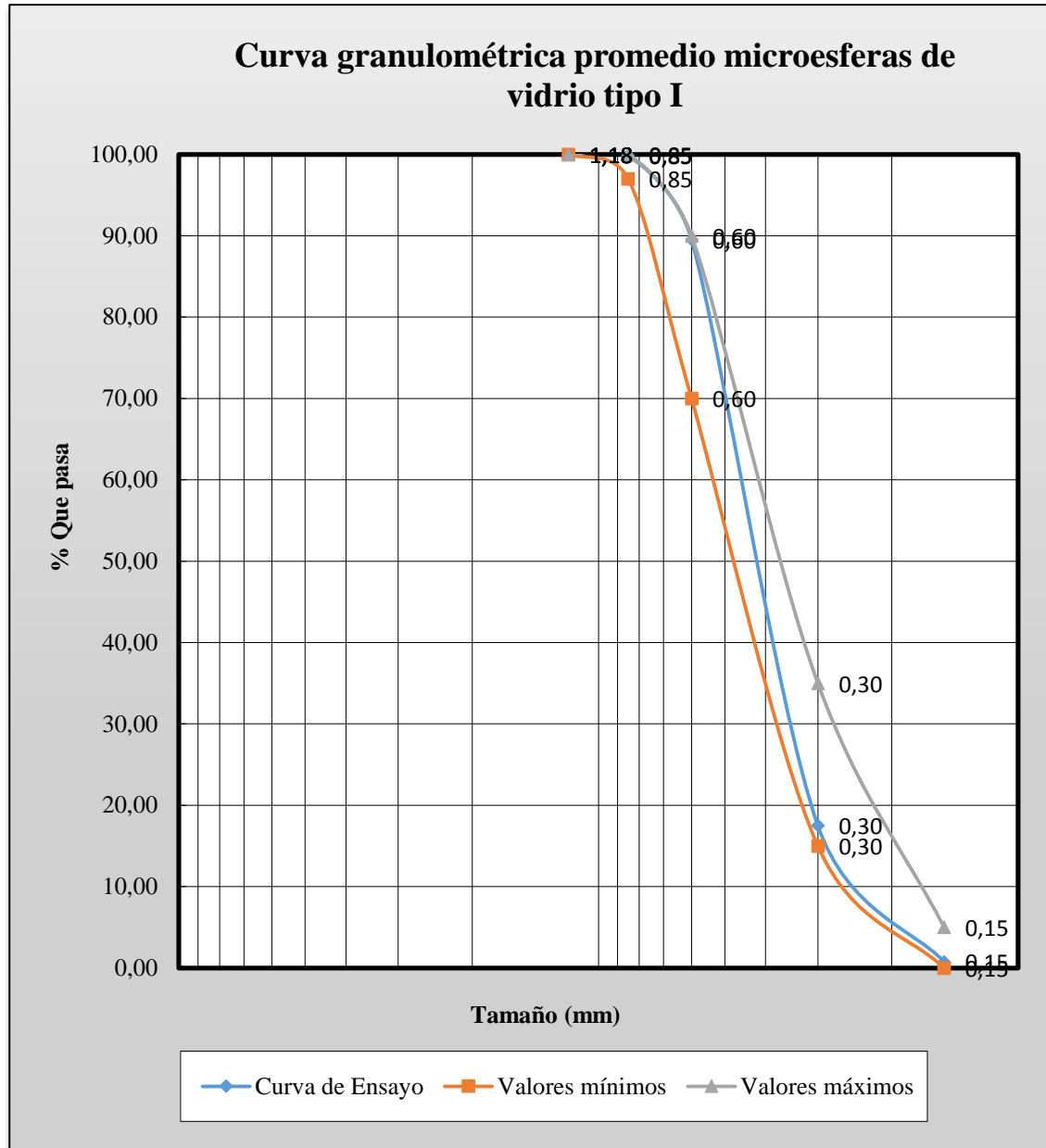
Los resultados de este ensayo de granulometría se pueden ver a continuación.

Tabla 19. Granulometría de las microesferas de vidrio tipo I

Peso total (gr.)			500,00			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum. (gr)	Ret. acum. (%)	% Que pasa del total	Porcentaje que pasa (%) AASHTO M-247
N° 16	1,18	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
N° 20	0,85	0,57	0,57	0,11	99,89	97,00 – 100,00
N° 30	0,60	51,80	52,37	10,47	89,53	70,00 – 90,00
N° 50	0,30	360,10	412,47	82,49	17,51	15,00 – 35,00
N° 100	0,15	83,73	496,20	99,24	0,76	0,00 – 5,00
BASE	-	3,33	499,53	99,91	0,09	0,00
	Suma	499,50				
	Pérdidas	0,50				

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1. Curva granulométrica de las microesferas de vidrio tipo I



Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Peso específico de la microesfera de vidrio (ASTM D854 - AASHTO T100)

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas compuestas por partículas menores que 5 mm.

Para la realización de este ensayo se procede a realizar la calibración el picnómetro primordialmente.

Figura 26. Calibración del picnómetro



Fuente: Elaboración propia

Una vez limpio, seco se registra los pesos del frasco vacío.

Se llena con agua destilada a temperatura ambiente hasta la parte interior del menisco coincida con la marca de calibración. Se seca el interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Se pesó y registro la masa del picnómetro más agua.

Con un termómetro insertado al centro del picnómetro, se registró diferentes puntos de temperatura de calibración, con los datos registrados de temperatura y masa del picnómetro más agua, se calcula la curva calibración del picnómetro.

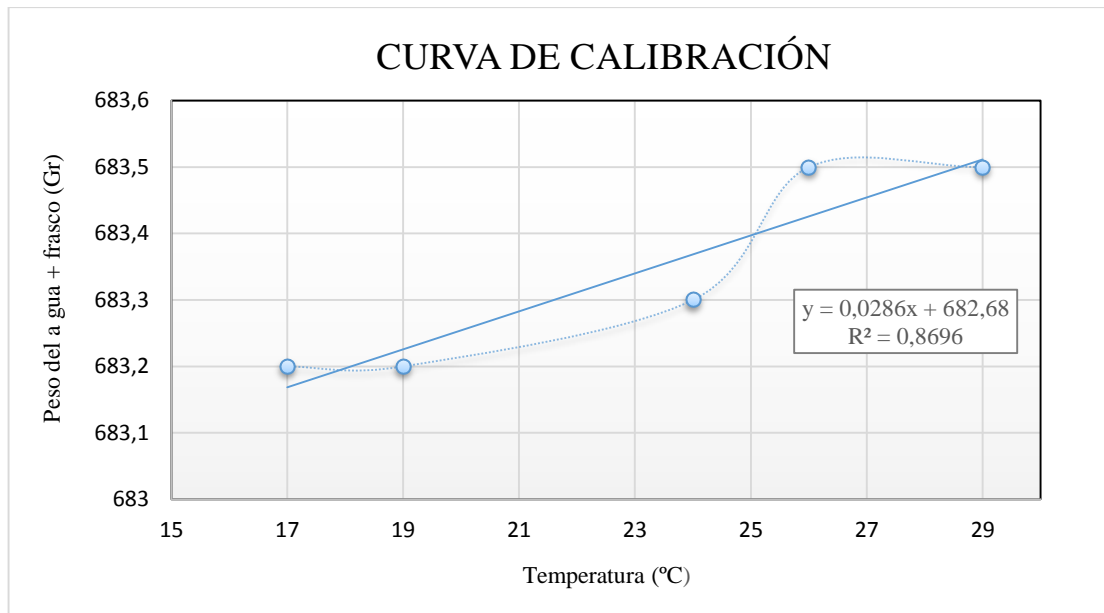
Los cálculos y resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 20. Datos registrados para la curva de calibración

Número de ensayo	Wfw (gr)	T (° C)
1	683,50	29,00
2	683,50	26,00
3	683,30	24,00
4	683,20	19,00
5	683,20	17,00

Fuente: Elaboración propia

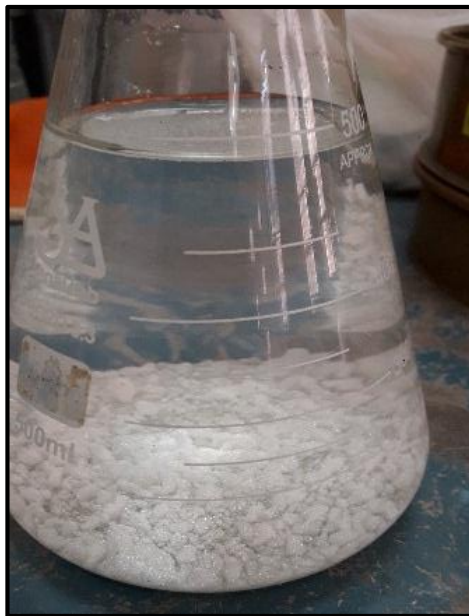
Gráfico 2. Curva de calibración del picnómetro



Fuente: Elaboración propia

Obtenida la ecuación de la curva de calibración, se procede a realizar el ensayo con una muestra de 80gr de microesferas de vidrio, una vez incorporadas se debe agitar suavemente para ayudar a la remoción del aire.

Figura 27. Muestra colocada en agua destilada para su aumento de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Se calentó haciendo girar ocasionalmente el picnómetro para ayudar a la remoción del aire hasta alcanzar los 60°C, después se procede a ponerlo en baño María para bajar gradualmente hasta temperatura ambiente, en el proceso se toma la lectura de distintas temperaturas y pesos para el registro.

A continuación se describe el procedimiento de los cálculos.

Ecuación de calibración:

$$y = 0,0286x + 682,6800$$

$$W_{fw} = 0,0286 * T + 682,6800$$

$$W_{fw} = 0,0286 * 29^{\circ}C + 682,6800 = 683,51 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Especifico} = \frac{W_s}{W_{fws} - W_{fw} - W_s}$$

$$\text{Peso Especifico} = \frac{80,00}{730,10 - 683,51 - 80,00} = 2,395 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Peso específico corregido} = \frac{\text{Peso específico}}{k} = \frac{2,395}{0,9977} = 2,400 \text{ g/cm}^3$$

Los cálculos y resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 21. Cálculo del peso específico

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
Temperatura ensayada °C	29,00	26,00	24,00	22,00	20,00	19,00	17,00	
Peso del suelo seco W _s	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	
Peso del frasco + agua W _{fw}	683,51	683,42	683,37	683,31	683,25	683,22	683,17	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws}	730,10	730,10	730,00	730,00	730,00	729,90	729,90	
Peso específico	2,395	2,401	2,398	2,402	2,406	2,401	2,405	
Factor de corrección K	0,9977	0,9986	0,9991	0,9995	1,0000	1,0002	1,0006	
Peso específico corregido (g/cm ³)	2,400	2,404	2,400	2,403	2,406	2,400	2,403	2,402

Fuente: Elaboración propia

- El valor obtenido de gravedad específica se encuentra entre (2,4-2,6) dentro los parámetros establecidos en la norma. (Véase ANEXO II)

3.7 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA PINTURA TERMOPLÁSTICA

El material termoplástico debe cumplir con varios requerimientos exigidos, entre ellos requerimientos químicos, físicos, mecánicos, y de aplicación. Teniendo en cuenta la utilidad de este material con fines primordiales como ser la demarcación de signos viales sobre pavimentos, se considera que el material Termoplástico “Termovial XB H1” debe cumplir con lo establecido en la norma AASHTO M249-08 “Materiales Termoplástico Blanco y Amarillo para Demarcación Vial (Estado Sólido)” (véase anexo V), brindándole mayor importancia a los requerimientos tanto mecánicos como de aplicación.

Al mismo tiempo comparar con los datos presentados en la Especificación Técnica proporcionadas por el distribuidor. (Véase anexo II)

3.7.1 Peso específico (ASTM D854 - AASHTO T100)

Con este ensayo verificamos que la gravedad específica del termoplástico cumpla con lo establecido en la norma AASHTO M-249 y coincida con lo indicado en su especificación técnica, para ello se utilizó la calibración del picnómetro establecido al obtener el peso específico de la microesferas de vidrio, considerando que se utilizó los mismos instrumentos.

Obtenida la ecuación de la curva de calibración, se procede a realizar el ensayo con una muestra de 80gr de pintura termoplástica, una vez incorporadas se debe agitarse suavemente para ayudar a la remoción del aire.

Se calienta haciendo girar ocasionalmente el picnómetro para ayudar a la remoción del el aire hasta alcanzar los 60°C, después se procede a ponerlo en baño María para bajar gradualmente hasta temperatura ambiente, en el proceso se toma la lectura de distintas temperaturas y pesos para el registro.

Figura 28. Muestra de 80gr de termoplástico antes de someterlo a baño maría



Fuente: Elaboración propia

El procedimiento es similar al que se utilizó para el ensayo de peso específico de las microesferas de vidrio.

A continuación se describe el procedimiento de los cálculos.

Ecuación de calibración:

$$y = 0,0286x + 682,6800$$

$$W_{fw} = 0,0286 * T + 682,6800$$

$$W_{fw} = 0,0286 * 28^{\circ}\text{C} + 682,6800 = 683,48 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{W_s}{W_{fws} - W_{fw} - W_s}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{80,00}{726,20 - 683,48 - 80,00} = 2,146 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Peso específico corregido} = \frac{\text{Peso específico}}{k} = \frac{2,146}{0,9980} = 2,150 \text{ g/cm}^3$$

Los cálculos y resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 22. Cálculo peso específico del termoplástico

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
Temperatura ensayada °C	28,00	25,00	23,00	20,00	19,00	17,00	16,00	
Peso del suelo seco W _s	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	
Peso del frasco + agua +W _{fw}	683,48	683,40	683,34	683,25	683,22	683,17	683,14	
Peso del frasco + agua + suelo W _{fws}	726,20	726,10	726,00	726,00	726,00	725,90	725,80	
Peso específico	2,146	2,145	2,143	2,148	2,149	2,147	2,143	
Factor de corrección K	0,9980	0,9988	0,9993	1,0000	1,0002	1,0006	1,0009	
Peso específico corregido (g/cm ³)	2,150	2,148	2,144	2,148	2,149	2,145	2,141	2,146

Fuente: Elaboración propia

El valor obtenido de gravedad específica del termoplástico es menor a 2,15 g/cm³ cumpliendo con lo establecido en la norma. (Véase anexo V)

3.7.2 Tiempo de secado (AASHTO M249-08)

Cuando se aplica a un rango de temperatura de 211 +/- 7°C (412.5 +/- 12.5°F) a un espesor de 3,2mm a 4,8 mm (1/8 a 3/16 in), el material deberá secar para soportar tráfico en no más de 2 minutos a una temperatura ambiente de 10 +/- 2°C (50 +/- 3°F) y no más de 10 minutos a una temperatura ambiente de 32 +/- 2°C (90 +/- 3°F).

Para el registro del tiempo se cronómetro desde el celular, iniciando cuando se llega a la temperatura de aplicación hasta tener una superficie sólida.

Figura 29. Proceso de calentamiento del termoplástico



Fuente: Elaboración propia

Los resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 23. Registro y cálculo del tiempo de secado del termoplástico

Datos		
Peso muestra M1 =	140,00	gr
Peso muestra M2 =	150,00	gr
Peso muestra M3 =	145,00	gr
Temperatura de fundicion =	210,00	°C

Registro					
Temperaturas ambiente	Valor	Unidad	Tiempos	Valor	Unidad
Temperatura 1 =	28,00	°C	Tiempo 1 =	300,00	s
Temperatura 2 =	26,00	°C	Tiempo 2 =	270,00	s
Temperatura 3 =	25,00	°C	Tiempo 3 =	210,00	s

Tiempo de secado		Unidad	Según norma	
Promedio	260,00	s	<	600,00
Promedio	4,33	min	<	10,00

Fuente: Elaboración propia

3.7.3 Resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas (AASHTO M249-08)

Después de calentar el material termoplástico por 240 +/- 5 minutos a una temperatura de 218 +/- 2°C (425 +/- 3°F), se aplicó en bloques de concreto, y se enfrió a -9.4 +/- 1.7°C (15 +/- 3°F), considerando que el material no debería presentar grietas o cuarteaduras.

Este ensayo consta del seguimiento al comportamiento de la muestra al ser sometida a temperaturas bajas, se logró realizar en una nevera y en una congeladora con el control

respectivo de temperatura mediante el termómetro.

Figura 30. Materiales utilizados para observar la resistencia a bajas temperaturas



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Probeta de mortero con termoplástico sometida a -10 °C sin agrietamientos



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Probeta de 3 mm de espesor sometida a temperatura de -18°C sin grietas



Fuente: Elaboración propia

Los resultados registrados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24. Registro de observaciones del ensayo a temperaturas bajas

Datos		
Peso probeta de termoplástico Pt =	41,73	gr
Peso de probeta de mortero más termoplástico Pmt =	249,60	gr

Registro							
Probeta "Pt"				Probeta "Pmt"			
Temperatura	Valor	Unid.	Observación	Temperatura	Valor	Unid.	Observación
Temp. 1 =	-8	°C	sin grietas	Temp. 1 =	-8	°C	sin grietas
Temp. 2 =	-10	°C	sin grietas	Temp. 2 =	-10	°C	sin grietas
Temp. 3 =	-12	°C	sin grietas	Temp. 3 =	-12	°C	sin grietas
Temp. 4 =	-16	°C	sin grietas	Temp. 4 =	-16	°C	sin grietas
Temp. 5 =	-18	°C	sin grietas	Temp. 5 =	-18	°C	sin grietas
Temp. 6 =	-20	°C	sin grietas	Temp. 6 =	-20	°C	sin grietas

Fuente: Elaboración propia

Nota: Se consideró -20°C como dato último de medición de temperaturas bajas, considerando el registro de temperaturas bajas alcanzadas en la ciudad de Tarija.

3.7.4 Punto de ablandamiento (ASTM D36, AASHTO M249-08)

Después de calentarse el material termoplástico por 240 ± 5 minutos a una temperatura de $218 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($425 \pm 3^{\circ}\text{F}$) y hacer prueba de acuerdo al ASTM D 36 los materiales deben tener un punto de ablandamiento de $102.5 \pm 9.5^{\circ}\text{C}$ ($215 \pm 15^{\circ}\text{F}$).

Para este ensayo se utilizó el equipo esferas y anillo sumergido en glicerina como especifica la norma ASTM D 36 para temperaturas de punto de ablandamiento mayores a 80°C .

Para la elevación de temperatura del frasco de precipitación, debido a la falta de equipo de calentamiento a altas temperatura, se sumergió el frasco en aceite de cocina y se calentó en hornalla de gas.

Figura 33. Materiales para el ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Proceso de calentamiento del vaso de precipitación



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Deslizamiento de las esferas de acero por el anillo con termoplástico



Fuente: Elaboración propia

Los resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 25. Resultados de punto de ablandamiento

Ensayo	Unid.	Lecturas			Promedio	Especificaciones	
		1	2	3		Min	Max
Punto de ablandamiento	°C	112,50	111,00	112,00	111,80	93,00	112,00

Fuente: Elaboración propia

3.7.5 Fluidez (AASHTO M249-08)

Después de calentarse el material termoplástico por 240 +/- 5 minutos a una temperatura de 218 +/- 2°C (425 +/- 3°F) y hacer prueba de fluidez, el material termoplástico blanco deberá tener un porcentaje máximo de residuo de 18.

Para este ensayo se hizo un control al a la temperatura considerando que el ensayo se realizó sobre una hornalla.

Figura 36. Proceso de calentamiento del termoplástico



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Control de temperatura para el vaciado



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Materiales utilizados y observación del residuo en cada recipiente



Fuente: Elaboración propia

Los cálculos y resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 26. Cálculos del porcentaje del residuo para el ensayo de fluidez

Datos		
Peso muestra promedio Mp=	100,00	gr
Recipiente P1 =	167,80	gr
Recipiente P4 =	88,50	gr
Error de balanza d =	0,10	gr

Cálculos	M1	M2	M3	Unidades
Temperatura de vaciado Tv =	216,00	220,00	218,00	°C
Residuo Permanente Rp + P4 =	106,70	105,50	106,50	gr
Residuo vaciado Rv + P1 =	249,60	250,80	249,70	gr
Rp = (Rp + P4) - P4 =	18,20	17,00	18,00	gr
Rv = (Rv + P1) - P1 =	81,80	83,00	81,90	gr
(Rp + Rv) = M	100,00	100,00	99,90	gr

$$\% Rp = \frac{Rp * 100\%}{M}$$

%Rp M1 =	18,20	%
%Rp M2 =	17,00	%
%Rp M3 =	18,02	%

% Residuo permanente promedio		Según Norma AASHTO M249-08	
% Rp =	17,74 %	<	18%

Fuente: Elaboración propia

3.7.6 Fluidez - calentamiento extendido (AASHTO M249-08)

Después de calentarse el material termoplástico por 8.0 +/- 5 horas a una temperatura de 218 +/- 2°C (425 +/- 3°F), agitando al menos seis (6) horas, y hacer la prueba de fluidez, el termoplástico deberá de tener un porcentaje de residuo máximo de 28.

Con relación a la prueba de fluidez, solo varía el tiempo que permanece caliente, por ello se empleó un horno donde se programó a 220°C.

Figura 39. Horno con capacidad de calentar hasta 500°C



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Observación de los residuos



Fuente: Elaboración propia

Los cálculos y resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 27. Cálculos del porcentaje de residuos del ensayo a calentamiento extendido

Datos		
Peso muestra M1=	150,00	gr
Recipiente P1 =	167,80	gr
Recipiente P3 =	100,30	gr
Error de balanza d =	0,10	gr

Cálculos		
Temperatura de vaciado Tv =	216,00	°C
Residuo Permanente Rp + P3 =	139,70	gr
Residuo vaciado Rv + P1 =	278,20	gr
Rp = (Rp + P3) - P3=	39,40	gr
Rv = (Rv +P1) - P1 =	110,40	gr
(Rp + Rv) = M1	149,80	gr

% Residuo permanente		Unidad
$\% Rp = \frac{Rp * 100\%}{M1} =$	26,30 < 28,00	%

Fuente: Elaboración propia

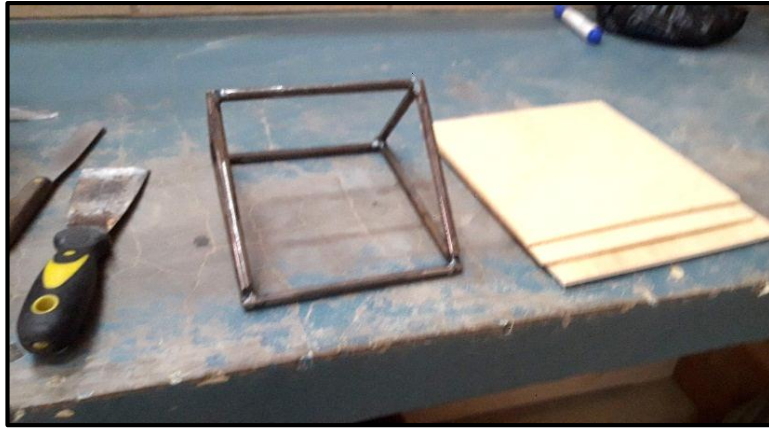
3.7.7 Escurrimiento por calentamiento a 70 °C

Se prepara una probeta en forma similar a la indicada para realizar el ensayo de comportamiento a baja temperatura. Se traza unas líneas de referencia siguiendo la dirección de uno de los bordes. Con este borde orientado hacia la parte inferior se coloca el panel en forma oblicua, con ángulo de 45°, en un horno a 70 ° C durante 24 horas.

La posición del panel será tal que la línea de referencia conserve posición horizontal. Al cabo del tiempo indicado se mide el deslizamiento a partir de la línea de referencia.

Este ensayo aporta información con respecto a la estabilidad o indeformabilidad de la franja en ciertas condiciones de servicio, que involucra tanto las temperaturas normales de verano como las variaciones que pueden ocurrir al nivel del pavimento.¹⁵

Figura 41. Materiales para el ensayo de escurrimiento por calentamiento a 70 °C



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Armado del material para el ensayo de escurrimiento por calentamiento



Fuente: Elaboración propia

¹⁵ (Bruzzoni & Aznar, 1977)

Figura 43. Apreciación del espesor de la muestra y ejes de medición



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Muestra en proceso de calentamiento del ensayo de escurrimiento



Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el registro de datos de espesores medidos después de 24 horas:

Tabla 28. Medición de espesores del ensayo a escurrimiento por calentamiento

Datos		
Peso de la muestra =	210,00	gr
Temperatura de fundición =	215,00	°C
Espesor de la tabla de venesta =	4,00	mm
Ancho de la muestra =	5,00	cm
Largo de la muestra =	10,00	cm

	Medición en tres puntos cada 2,50 cm a lo largo de la muestra		
	P1	P2	P3
Distancia desde el punto cero Po (cm)	2,50	5,00	7,50
Altura inicial (Mus + Tab) = Ai (mm)=	6,70	6,50	7,00
Altura inicial de muestra (Ai - Tab) (mm) =	2,70	2,50	3,00
Temperatura inicial Ti (°C) =	27,00	27,00	27,00
Temperatura final Tf (°C) =	70,00	70,00	70,00
Tiempo de calentamiento (hrs) =	12,00	12,00	12,00
Altura final (Mus + Tab) = Af (mm) =	6,70	6,50	7,00
Altura final de muestra (Af - Tab) (mm) =	2,70	2,50	3,00

Resultado:	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
------------	---------------	---------------	---------------

Fuente: Elaboración propia

3.7.8 Absorción de agua

En un marco como el usado para el ensayo de comportamiento a baja temperatura se vierte una porción de termoplástico fundido sobre un panel de hojalata previamente aceitado. Una vez que se ha enfriado, se retira el molde y se separa la base de hojalata.

La probeta así moldeada se pesa y se sumerge en agua destilada durante 24 horas a 25°C, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D-570-63.

La absorción se expresa en forma porcentual.

Con este ensayo se trata de obtener valores que den una idea de la impermeabilidad al agua que ofrece el termoplástico.

Es conocido el hecho que los materiales porosos sufren un deterioro mayor que los impermeables, cuando son sometidos a la acción de la intemperie.¹⁶

Figura 45. Materiales de moldeo y pesaje de la muestra



Fuente: Elaboración propia

¹⁶ (Bruzzoni & Aznar, 1977)

Figura 46 Proceso de sumersión en agua destilada a 25 °C



Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta cálculos del porcentaje de absorción de agua:

Tabla 29. Cálculos del porcentaje de absorción de agua

Datos		
Tiempo de absorción =	24,00	hrs.
Temperatura de absorción =	25,00	°C
Peso muestra seca Ms 1=	42,30	gr.
Peso muestra seca Ms 2=	49,70	gr.
Peso muestra seca Ms 3=	46,80	gr.
Peso sumergida Msum 1 =	42,36	gr.
Peso sumergida Msum 2 =	49,78	gr.
Peso sumergida Msum 3 =	46,86	gr.

$$W1 = \frac{Msum\ 1 - Ms\ 1}{Msum\ 1} * 100\%$$

$$W1 = \frac{42,36 - 42,30}{42,36} * 100\% = 0,14 \%$$

Determinación del peso del agua "Wa"			Porcentaje de absorción		
Msum 1 - Ms 1 =	0,06	gr.	W 1 =	0,14	%
Msum 2 - Ms 2 =	0,08	gr.	W 2 =	0,16	%
Msum 3 - Ms 3 =	0,06	gr.	W 3 =	0,13	%
			Promedio W (%) =	Rango de valores	
			0,14	0,10 % - 0,15 %	

Fuente: Elaboración propia

3.7.9 Comportamiento a la temperatura de aplicación

Se calienta el material hasta la temperatura de aplicación indicada por el fabricante mientras se agita con espátula de acero y se mantiene en esas condiciones durante 15 minutos. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se repite el ciclo tres veces más.

Por último el material fundido se vuelca sobre placa en el interior de un marco metálico de 5 x 10 cm y 3 mm de espesor.

Paralelamente se prepara una probeta similar con material que no ha sufrido el tratamiento de calentamientos y enfriamientos sucesivos, a fin de tomarla como referencia.

Se considera que la muestra cumple el ensayo si durante el calentamiento no produce humos o vapores agresivos y si además la película no muestra ampollado, granulaciones o cambio de color respecto al testigo.

Con este ensayo se trata de determinar si el material mantiene sus características originales, aunque haya soportado calentamientos repetidos, como suele ocurrir corrientemente en la práctica.¹⁷

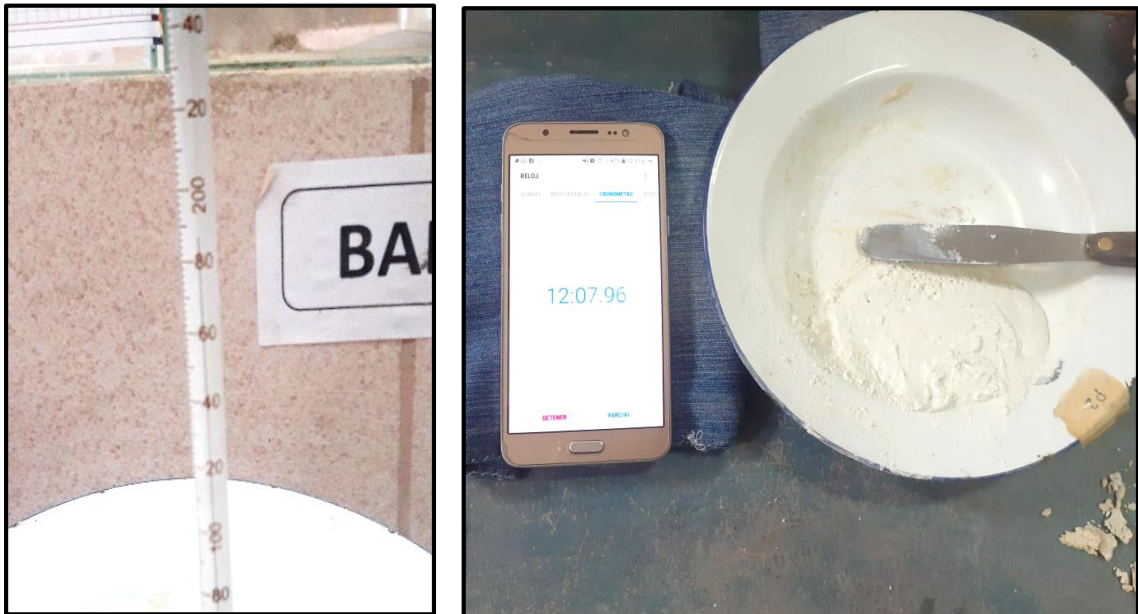
¹⁷ (Bruzzoni & Aznar, 1977)

Figura 47. Recalentamiento del material en hornalla



Fuente: Elaboración propia




Figura 48. Medición de la temperatura y control de tiempo del tiempo a calentar



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Observaciones del comportamiento del termoplástico a recalentamiento

Datos		
Peso del recipiente =	144,98	gr.
Temperatura ambiente =	27,00	°C
Tiempo de enfriamiento =	15,00	min

	1er Calentamiento	2do Calentamiento	3er Calentamiento
Peso (muestra + Recip.) (gr) =	249,10	249,05	249,00
Temperatura de aplicación (°C) =	200,00	210,00	206,00
Peso de la muestra (gr) =	104,12	104,07	104,02
Variación de color de la muestra:			
Estado de conformidad de color:	Satisfactorio	Satisfactorio	No satisfactorio

$$\text{Pérdida de volumen} = \frac{\text{"Peso muestra 2"} * 100\%}{\text{"Peso muestra 1"}}$$

Perdidas en volumen con relación al primer calentamiento (%):	0,00	4,80	9,60
Estado de conformidad de pérdidas de volumen:	Satisfactorio	Satisfactorio	No satisfactorio

Fuente: Elaboración propia

- Es necesario mencionar que los gases que bota el termoplástico sobre pasando su temperatura de aplicación son tóxicos a grandes exposiciones del mismo, por eso es recomendable que por precaución se utilice barbijo o máscara de gas, al tener varios recalentamientos, al momento de sobrepasar la temperatura de aplicación e incluso si en caso extremo se llegara a quemar el material.

3.7.10 Coeficiente de resistencia al deslizamiento en péndulo británico (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90)

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

El método tiene por objetivo obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas.

Una vez montado el aparato, comprobada la medida del cero y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

Figura 49. Péndulo británico montado



Fuente: Elaboración propia

La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo que se indica en 12 asegurándose que quede libre de partículas sueltas.

Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.

Figura 50. Humedecimiento de la superficie para el ensayo del péndulo británico



Fuente: Elaboración propia

Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por esta, en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo.

La medida se repite cuatro veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas medidas no difieren en más de tres unidades, se anotan los valores medidos como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado.

Figura 51. Ensayo del péndulo británico



Fuente: Elaboración propia

Si la diferencia entre las 4 lecturas es mayor de 3 unidades BPN (British Pendulum Number), se continua realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última secuencia como valor efectivo de las lecturas en el punto ensayado.

Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando el termómetro próximo sobre el pavimento y a la sombra. Asimismo se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.

A continuación se realizan los cálculos:

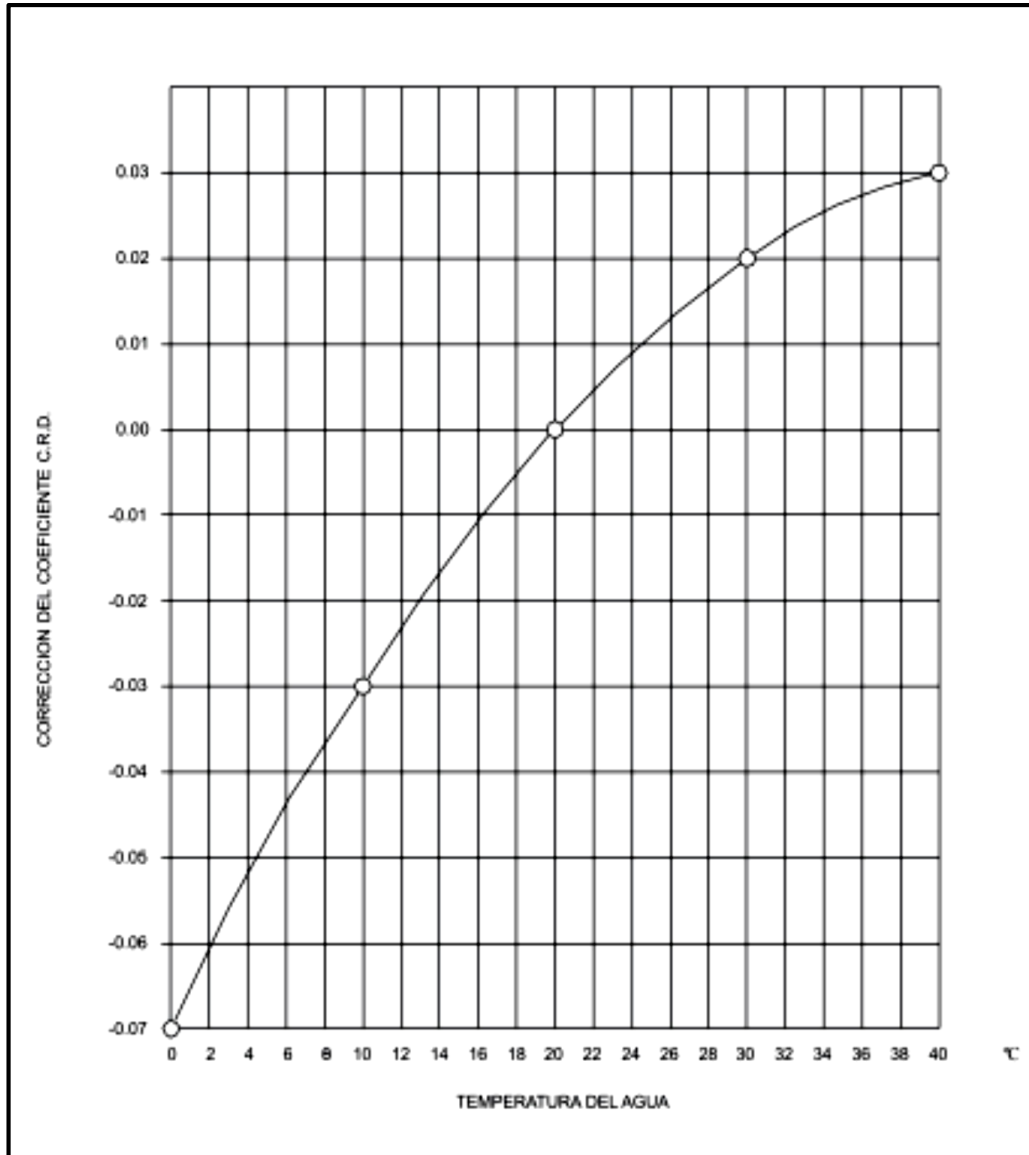
BPN, son las siglas correspondientes a British Pendulum Number (Número de Péndulo Británico).

Esta es la unidad en que se mide el coeficiente de roce del pavimento, cuyo rango va desde 0 a 100. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de:

$$\text{Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)} = \frac{100}{\text{BPN}}$$

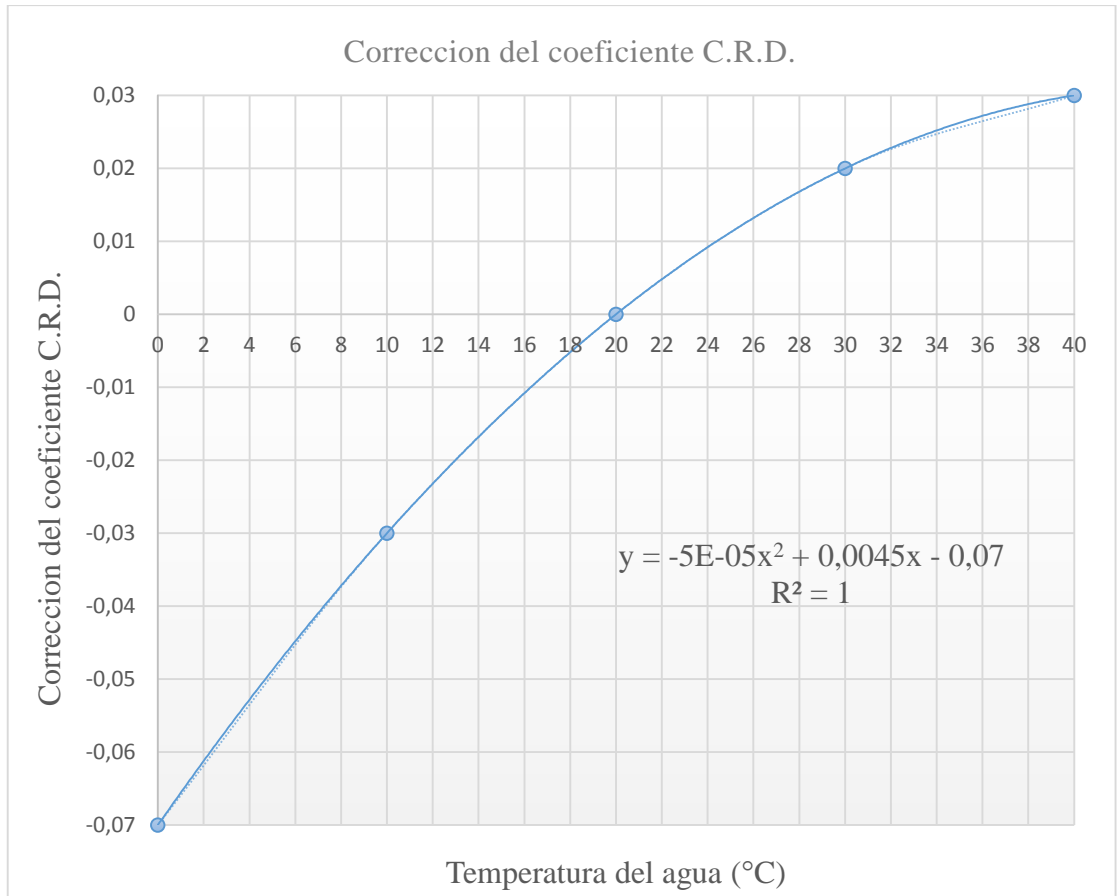
Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante la figura 52, para expresar los resultados a 20°C. Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

Figura 52. Corrección del coeficiente C.R.D.



Fuente: (ABC, Manual de ensayos de suelos y materiales asfaltos, 2014)

Gráfico 3. Corrección del coeficiente C.R.D y ecuación de la curva.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Calificación del coeficiente de resistencia al deslizamiento

RD	Calificación
0,5	Malo (Deslizante)
0,51-0,6	De regular a malo
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
0,91	Malo (Desgaste de neumáticos)

Fuente: (Leiva, 2005)

Ecuación logarítmica de la corrección del coeficiente C.R.D.:

$$\text{Factor C. R. D.} = -0,00005 * T^2 + 0,0045 * T - 0,07$$

$$\text{Factor C. R. D.} = -0,00005 * 26^2 + 0,0045 * 26 - 0,07$$

$$\text{Factor C. R. D.} = 0,0132$$

$$FA = 1 + 0,0132 = 1,0132$$

Tabla 32. Cálculos del coeficiente de resistencia al deslizamiento

Progresiva	Temp (°C)	FA	Lecturas			Prom.	BPNA	RD	Calificación parcial
			1	2	3				
0+000,15	26	1,0132	89,00	85,00	84,00	86,00	87,14	0,87	Bueno a regular
0+000,30	26	1,0132	90,00	80,00	79,00	83,00	84,10	0,84	Bueno a regular
0+000,45	26	1,0132	97,00	83,00	82,00	87,33	88,49	0,88	Bueno a regular

RD	Calificación final
0,87	Bueno a regular

Fuente: Elaboración propia

- Desacuerdo a lo establecido en la ACB en el Manual de control de tránsito, el coeficiente de rozamiento de las demarcaciones planas debe ser mayor o igual a 0,45, y nuestro valor obtenido es de 0,87.

3.7.11 Coordenadas cromáticas demarcación plana (AAAHTO M249-08)

Para la verificación de que las coordenadas cromáticas se han las requeridas, se realizó la comparación de lo especificado en la ficha técnica del termovial XB H1 con la sustitución de las ecuaciones descritas en la norma AASHTO M429-08.

- **Descripción de la ficha técnica**

Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D65.

Tabla 33. Coordenadas cromáticas Termovial XB H1

Blanco		
N°	x	y
1	0,355	0,355
2	0,305	0,305
3	0,285	0,325
4	0,335	0,375

Fuente: (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020)

- **Descripción de la norma**

Los factores de cromacidad y luminancia de colores ordinarios y de colores de materiales retro-reflectivos, debe ser determinada bajo las siguientes condiciones estándar:

- a) Ángulo de iluminación, 45 grados
- b) Dirección, perpendicular a la superficie; y
- c) Iluminador: Estándar CIE D 65.

Ecuación CIE:

Tabla 34. Coordenadas cromáticas norma AASHTO M429-08

Blanco	
Límite púrpura	$y = x$
Límite azul	$y = 0.610 - x$
Límite verde	$y = 0.040 + x$
Límite amarillo	$y = 0.710 - x$

Fuente: (M249-08, 1986)

Remplazando los valores de x de la ficha técnica del Termovial XB H1 en las ecuaciones de la norma AASHTO M429-08:

Límite púrpura:

$$X = 0,355 \rightarrow Y = 0,355$$

Límite azul:

$$X = 0,305 \rightarrow Y = 0,610 - 0,305 = 0,305$$

Límite verde:

$$X = 0,285 \rightarrow Y = 0,040 + 0,285 = 0,325$$

Límite amarillo:

$$X = 0,335 \rightarrow Y = 0,710 - 0,335 = 0,375$$

- Se puede confirmar que los valores obtenidos mediante las ecuaciones de la norma AASHTO M429-08 son los valores descritos en la ficha técnica, consolidando que la pintura termovial rige con lo especificado en la misma.

Tabla 35. Resumen de la caracterización del material termoplástico Termovial XB H1

Caracterización del termoplástico Termovial XB H1

Origen: Argentina

Ensayo	Unid.	Muestras							Res.	Según Norma	
		1	2	3	4	5	6	7		Mínimo	Máximo
Peso específico :											
Temperatura ensayada	°C	28	25	23	20	19	17	16			
Peso del suelo seco Ws	grs.	80	80	80	80	80	80	80			
Peso del frasco + agua Wfw	grs.	683,5	683,4	683,3	683,3	683,2	683,2	683,1			
Peso del frasco + agua + suelo Wfws	grs.	726,2	726,1	726	726	726	725,9	725,8			
Peso específico	grs./cm ³	2,146	2,145	2,143	2,148	2,149	2,147	2,143			
Factor de corrección K		0,998	0,999	0,999	1	1	1,001	1,001			
Peso específico corregido	grs./cm ³	2,15	2,148	2,144	2,148	2,149	2,145	2,141	2,146	-	2,15
Tiempo de secado :											
Temperatura ambiente:	°C	28	26	25					26,3	12	34
Tiempo de secado :	s	300	270	210					260	-	600
Resistencia al agrietamiento en temperaturas bajas :											
Temperatura ensayada:	°C	-8	-10	-12	-16	-18	-20				
Observación :		sin grietas	sin grietas	sin grietas	sin grietas	sin grietas	sin grietas		sin grietas		
Resistencia al impacto:										No se realizó	
Punto de ablandamiento:	°C	112,5	111	112					111,83	93	112
Fluidez:											
Temperatura ensayada	°C	216	220	218					218	216	220
Porcentaje de residuo permanente	%	18,2	17	18,02					17,7	-	18
Índice de amarillos:										No se realizó	
Fluidez a calentamiento extendido:											
Temperatura ensayada	°C	216							216	216	220
Residuo permanente	%	26,3							26,3	-	28
Escurrimiento por calentamiento a 70°C:											
Temperatura ensayada	°C	70	70	70					70		
Comportamiento:		Sat.	Sat.	Sat.					Sat.	-	-
Absorción de agua:											
Porcentaje de absorción:	%	0,14	0,16	0,13					0,14	0,1	0,15
Comportamiento a temperatura de aplicación:											
Temperatura ensayada	°C	200	210	206							
Estado de color		Blanco	Blanco	Amarillo							
Conformidad de color		Sat.	Sat.	No Sat.					Sat	-	-
Volumen de pérdidas	%	0	4,8	9,6							
Conformidad del porcentaje de pérdida de volumen		Sat.	Sat.	No Sat.					Sat	-	-
Coefficiente de resistencia al deslizamiento en péndulo Británico:											
Temperatura ensayada	°C	26	26	26					26	-	-
Número de Péndulo Británico		86,00	83,00	87,33							
C.R.D.		0,87	0,84	0,88					0,87	0,45	-
Coordenadas cromáticas demarcaciones planas										Ecuaciones según norma	
Límite púrpura		x = 0,355	y = 0,355							y=x	
Límite azul		x = 0,305	y = 0,305							y=0,610-x	
Límite verde		x = 0,285	y = 0,325							y=0,040+x	
Límite amarillo		x = 0,335	y = 0,375							y=0,710-x	

Nota: Clave de la tabla: Sat., satisfactorio; No Sat., no satisfactorio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Resultados de ensayos en comparación con cada reglamentación

Caracterización del termoplástico Termovial XB H1

Origen: Argentina

Ensayo	Unid.	Ensayos Valores	Norma AASHTO M249-08		Ficha técnica		Manual ABC		Investigación de Bruzzoni y Aznar	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Peso específico :										
Peso específico corregido	grs./cm ³	2,146	-	2,15	1,95	2,15	-	-	-	-
Tiempo de secado :										
Tiempo de secado :	s	260,00	-	600	-	-	-	-	-	-
Resistencia al agrietamiento en temperaturas bajas :										
Temperatura de ensayo	°C	-20	-7,7	-11,1	-	-	-	-	0	-5
Observación :		sin grietas	con grietas	sin grietas	-	-	-	-	con grietas	sin grietas
Resistencia al impacto:	J	no se realizó	1,13	-	-	-	-	-	-	-
Punto de ablandamiento:	°C	111,83	93,00	112,00	95,00	110,00	-	-	82	94
Fluidez:										
Porcentaje de residuo permanente	%	17,70	-	18,00	-	-	-	-	-	-
Índice de amarillos:		no se realizó	-	0,12	-	0,12	-	-	-	-
Fluidez a calentamiento extendido:										
Residuo permanente	%	26,30	-	28,00	-	-	-	-	-	-
Escurrimiento por calentamiento a 70°C:										
Comportamiento:		Sat.	-	-	-	-	-	-	No Sat.	Sat.
Absorción de agua:										
Porcentaje de absorción:	%	0,14	-	-	-	-	-	-	0,10	0,15
Comportamiento a temperatura de aplicación:										
Conformidad de color		Sat	-	-	-	-	-	-	No Sat.	Sat.
Volumen de perdidas	%									
Conformidad del porcentaje de pérdida de volumen		Sat	-	-	-	-	-	-	No Sat.	Sat.
Coefficiente de resistencia al deslizamiento en péndulo Británico:										
C.R.D.		0,87	-	-	-	-	0,45	-	-	-
Coordenadas cromáticas demarcaciones planas					X	Y	X	Y		
Límite púrpura	0,355	0,355	y=x		0,355	0,355	0,355	0,355	-	-
Límite azul	0,305	0,305	y=0,610-x		0,305	0,305	0,305	0,305	-	-
Límite verde	0,285	0,325	y=0,040+x		0,285	0,325	0,285	0,325	-	-
Límite amarillo	0,335	0,375	y=0,710-x		0,335	0,375	0,335	0,375	-	-

Nota: Clave de la tabla: Sat., satisfactorio; No Sat., no satisfactorio.

Fuente: Elaboración propia

3.8 APLICACIÓN EN CAMPO DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO

Para realizar la aplicación práctica se presentó cartas al Departamento de Obras Públicas del Gobierno Autónomo Municipal de Tarija, con el fin de solicitar la designación de una intersección donde se me autorice realizar la demarcación con pintura termoplástica (véase anexo I).

Por medio de la derivación de mi solicitud a la Secretaría de Movilidad Urbana, se me proporcionó la autorización para proceder realizar la aplicación práctica de este proyecto, bajo la supervisión del encargado de la Oficina de Diseño e Infraestructura de la Movilidad Urbana, Ing. Gustavo J. Chambi Gareca.

Para la aplicación del termoplástico se trabajó en conjunto con la Secretaría de Movilidad Urbana, el cual proporciono el equipo “ThermoLazer” para el calentamiento del material termoplástico y técnicos expertos en su manipulación.

Todo el proceso de pintado se ejecutó considerando las especificaciones del anexo 9 y 10.

3.8.1 Limpieza de la intersección a demarcar

Para proceder a hacer la limpieza de la intersección, se restringió el paso vehicular con conos de prevención. Seguidamente se limpió la intersección con una mochila sopladora que trabaja a gasolina y escobas de apoyo, a los sitios donde se aplicará la pintura termoplástica, para una buena adherencia se le debe desprender toda suciedad profunda, como ser: restos de pintura mal adherida, anti-soles, grasas u otros que puedan afectar la adherencia.

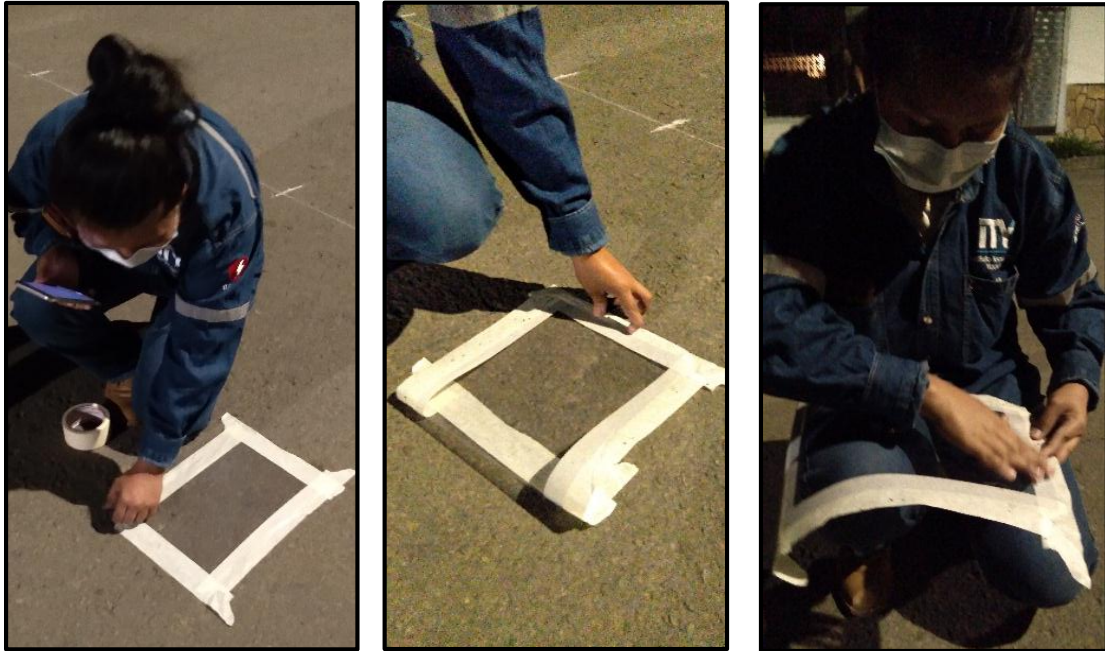
Figura 53. Mochila sopladora



Fuente: Elaboración propia

Con la superficie del pavimento flexible limpia, seca y libre de polvo se procede a hacer la prueba de contenido de humedad de la siguiente manera:

Figura 54. Prueba del control de humedad



Fuente: Elaboración propia

Utilizando una cinta adhesiva, fijamos un rectángulo de plástico delgado de aprox. 25cm de lado en la superficie de la calle, teniendo cuidado de sellar todos los bordes. Después de 15 minutos, se examinó la parte del plástico que estaba en contacto con el pavimento, este no mostro humedad lo que indica que estamos en condiciones de realizar la demarcación.

3.8.2 Premarcado del paso peatonal

Con el premarcado o tizado definimos los puntos o marcas específicas donde se aplicará la pintura, para el paso peatonal se procedió a marcar conforme a las medidas ya antes diseñadas como ser cebras de 0,4 m por 3m de ancho.

Teniendo 12 franjas sobre la calle Federico Ávila y 9 franjas sobre la calle Ingavi.

El marcado se realiza desde la mitad de la calle hacia los extremos, esto porque no todas las calles tienen medidas exactas, así que se priorizan las líneas en medio de la calzada.

Los materiales generalmente usados son yeso, flexómetro y cuerda de hilo.

Figura 55. Materiales y marcado de paso peatonal



Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Proceso de aplicación del imprimante

El uso de imprimante es para favorecer la ligadura entre el pavimento flexible y la pintura, en pavimentos de concreto es obligatorio ya que en este caso no hay la ligadura térmica como sucede con los pavimentos asfálticos; en estos últimos debe aplicarse imprimante solamente cuando el pavimento asfáltico tiene más de 6 meses de uso, como es nuestro caso.

La ligadura térmica se refiere a la formación de un solo cuerpo entre la pintura termoplástica y el asfalto producido por la fusión de los dos cuerpos al aplicarse entre 190 y 230°C.

La imprimación aplicada fue de la marca Primex antes especificada, esta se aplicó con unas brochas de 10 cm de ancho, desbordando entre 3 a 5 cm fuera de la marca de cebra, previendo algún tipo de desborde del termoplástico al momento de realizar el demarcado. Aplicado se esperó entre 30 min o más que seque el Primex, para poder demarcar con la pintura termoplástica.

Figura 56. Aplicación del imprimante Primex



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Producto Primex y materiales usados



Fuente: Elaboración propia

3.8.4 Fundición del material Thermovial XB H1

Con fin de reducir tiempos de trabajo se puso en proceso de fundición al equipo ThermoLazer, en el momento de realizar la imprimación, se vaciaron 5 bolsas de termoplástico en primera carga.

La temperatura de fusión debe ser según la recomendación del fabricante de la pintura termoplástica que vario entre 190°C y 210°C. El equipo tiene su mezclador manual para permitir una fusión y temperatura homogénea y constante. Cuando el material está completamente fundido, que tomo entre 45 a 80 min, debe trasvasarse al equipo a la zona de marcado.

Figura 58. Equipo ThermoLazer en proceso de calentado



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Vaciado del termoplástico al equipo ThermoLazer

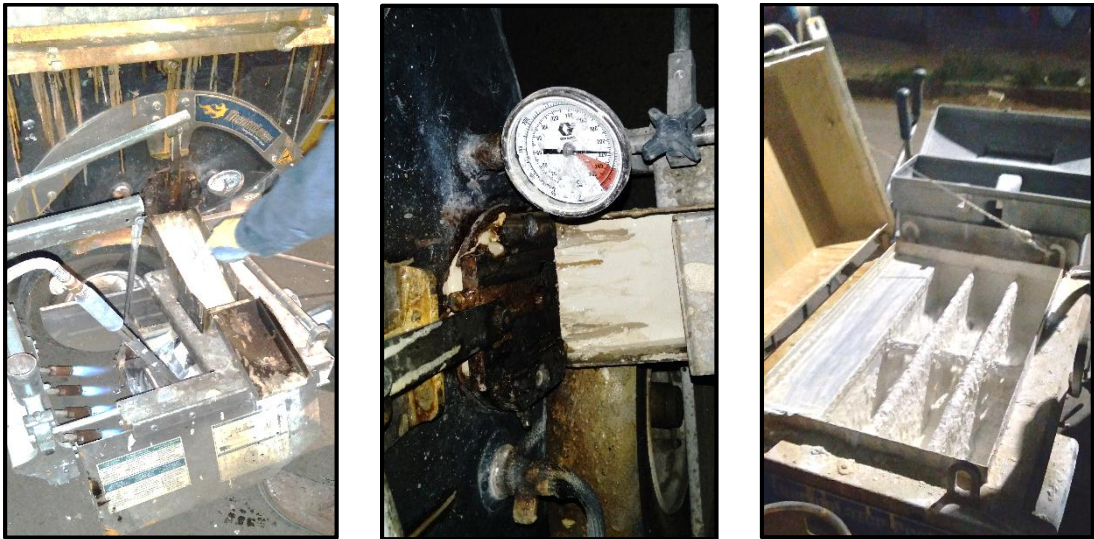


Fuente: Elaboración propia

Es importante realizar una limpieza al equipo en especial a las zonas de salida del material, para extraer los residuos del material termoplásticos de otros trabajos anteriores, porque estos pueden estar amarillentos y pueden troncar el deslizamiento del material nuevo.

Considerar siempre que todo el equipo esté a la misma temperatura, es por ello que el ThermoLazer cuenta con termómetros controladores de temperatura en distintas zonas de sus compuestos.

Figura 60. Limpieza del equipo por el conducto de expulsión del termoplástico



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Traslado del ThermoLazer para realizar la demarcación



Fuente: Elaboración propia

Cuando se requiere grandes cantidades de termoplástico fundido se pueden implementar el fusor, de donde se traspara el termoplástico ya fundido al equipo, existe una caída de temperatura al traspasar que puede variar entre 5 a 10°C, por tanto debe controlarse la temperatura en el fusor del equipo aplicador antes de iniciar las pruebas de aplicación y la aplicación como tal.

3.8.5 Calibración del espesor de la pintura

Previo a la aplicación debe calibrarse el espesor de la pintura. Para esto se hicieron pruebas aplicando sobre placas de aluminio que permitan la medición del espesor acorde a las especificaciones de la norma, como ser que no tenga que superar los 3mm de espesor. Es importante esta calibración ya que espesores muy bajos propenden una posible mala adherencia y un desgaste prematuro.

Figura 62. Calibración del espeso de la pintura en campo



Fuente: Elaboración propia

3.8.6 Pintado de cebras con termoplástico

El material termoplástico debe aplicarse a la superficie del pavimento flexible a una temperatura de material entre 190 y 210 °C, a estas condiciones tiene la consistencia adecuada para su aplicación; también hay que considerar la temperatura ambiental y temperatura del pavimento flexible. La temperatura del material debe medirse en la salida del extrusor. Se debe evitar la aplicación en temperaturas ambientales o del pavimento menores a 8°C, para evitar problemas de adherencia y penetración de microesfera que tendrán consecuencia posterior en la reflectividad.

En el momento de aplicación se utiliza placas de aluminio tanto al principio como al final del marcado para poder demarcar de manera exacta. Se procura realizar el pintado entre solo dos operadores de la máquina para hacer un trabajo con mayor exactitud.

Figura 63. Extracción de residuo de la placa de aluminio



Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Principio de marcado de una cebra de paso peatonal



Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Demarcación final de una cebra



Fuente: Elaboración propia

3.8.7 Procedimiento de sembrado de microesferas de vidrio

El sembrado de microesferas se realizó manualmente, porque el equipo ThermoLazer no contaba con los instrumentos armados, para poder realizar el sembrado mecánico.

Para realizar el sembrado manualmente hay que esparcir homogéneamente las microesferas de vidrio sobre toda la demarcación, por lo que se debe efectuar una leve inclinación, también para esparcir con cierta velocidad las microesferas, esto para que las microesferas puedan penetrar un 60% dentro el material termoplástico.

Todo esto se debe efectuar en el momento que está vaciado el termoplástico sobre el pavimento aprovechando que se encuentra en un estado líquido por la temperatura de aplicación.

La calibración de la dosis de la microesfera, está basado en la descarga y la velocidad en que se aplicará.

La dosis indicada de microesfera será uno de los factores principales para la obtención de la reflectividad esperada.

Figura 66. Sembrado de microesferas de vidrio sobre la marca de la cebra



Fuente: Elaboración propia

3.8.7.1 Cálculo de la dosis de microesferas

En general, el sembrado de microesferas, sin considerar casos especiales, consume entre 300 y 450 g/m² de demarcación. La tasa de aplicación de microesferas puede ser determinada en forma parecida al cálculo de rendimiento de otros materiales de demarcación. Contando el número de bolsas usadas y multiplicando por el peso de cada una. Luego divide los metros cuadrados por la cantidad usada.

Para el proyecto se consideró las líneas transversales y las del paso peatonal.

Tabla 37. Cálculo de las dosis de microesferas de vidrio

Franjas			Rendimiento Microesferas (g/m ²)	Dosis por franja (g)
Ancho (m)	Largo (m)	Área (m ²)		
0,40	3,00	1,20	450,00	540,00
0,40	6,80	2,72	450,00	1224,00
0,40	10,80	4,32	450,00	1944,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Observación de las microesferas de vidrio Microlux



Fuente: Elaboración propia

3.8.8 Culminación de la aplicación práctica

Después de implementar el material y a ver pintado toda la intersección se procede a limpiar el material termoplástico adherido en los instrumentos de trabajo, así también en el equipo ThermoLazer.

Figura 68. Culminación de la aplicación práctica



Fuente: Elaboración propia

3.9 CONTROLES DE CALIDAD DE LA APLICACIÓN

3.9.1 Prueba de adherencia

La prueba de adherencia es indispensable previo y durante a la aplicación. Esta prueba evidenciará si la ligadura física-térmica con el asfalto está siendo correctas.

La prueba consiste en levantar una pequeña porción de pintura aplicada y comprobar si se desprende con asfalto.

Si estas condiciones no se dan, es posible que la temperatura del material esté bajo, que el imprimante esté mal aplicado, que existan residuos de suciedad, pintura anterior mal adherida o aditivos como anti-soles.

Figura 69. Buena adherencia en el asfalto



Fuente: Elaboración propia

3.9.2 Medición de espesores

Colocando una placa de aluminio (60 x 30 cm), previo al paso de la maquina mientras está realizando la aplicación, procedemos a levantar tres muestras aleatorias, retirando éstas antes que solidifique el termoplástico con el trazo de la demarcación.

Figura 70. Extracción de muestras para el control de espesores



Fuente: Elaboración propia

Una vez extraído tres muestras aleatoriamente, se las llevó al laboratorio dichas muestras para hacer la medición a sus espesores y así efectuar un control de la aplicación.

Con un micrómetro se midió el espesor de la placa y luego se midió el espesor de la muestra en conjunto con la placa. Realizando las mediciones en tres puntos distintos de la muestra. La medición debe hacerse en áreas donde no haya acumulación de microesfera de diámetros grandes.

Figura 71. Medición de espesores a las muestras extraídas



Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran las medidas registradas de los espesores:

Tabla 38. Verificación del cumplimiento de los espesores

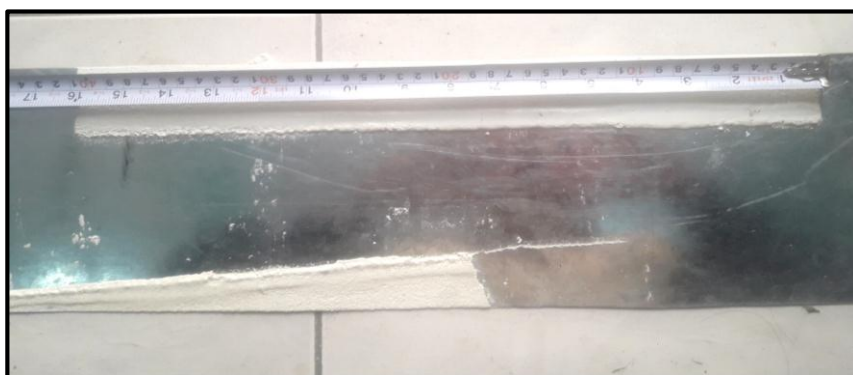
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
	Espesor (mm)	Espesor (mm)	Espesor (mm)	
Espesor de la placa	0,45	0,45	0,45	
Punto 1	2,46	1,95	2,45	
Punto 2	2,47	2,32	2,55	
Punto 3	2,63	2,52	2,46	
Valores sin espesor de la placa				Especificación
Punto 1	2,01	1,50	2,00	< 3 mm
Punto 2	2,02	1,87	2,10	< 3 mm
Punto 3	2,18	2,07	2,01	< 3 mm

Fuente: Elaboración propia

3.9.3 Medición de ancho de franja

Con un flexómetro se midió el ancho de la cebra. Se verifico que cumplan las dimensiones especificadas; se aceptan una tolerancia de $\pm 5\%$. Las verificaciones deben hacerse periódicamente mientras se aplica para tener certeza de cumplir los parámetros.

Figura 72. Medición del ancho de franja



Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Verificación del cumplimiento del ancho de franja

	Ancho de marcado en campo (cm)	Ancho establecido (cm)	Tolerancia del +5%.	Seguimiento
Muestra 1	40,8	40	<42cm	Cumple
Muestra 2	40,6	40	<42cm	Cumple
Muestra 3	41	40	<42cm	Cumple

Fuente: Elaboración propia

- La verificación de espesores cumplen en su totalidad con los rangos de tolerancia, y se estima un una variación promedio de 8 mm en el ancho de marcado, lo que es tolerable considerando que se está trabajando con un material que fluye a temperaturas altas lo cual no permite ser manipulado para marcar con mayor exactitud como con la pintura convencional.

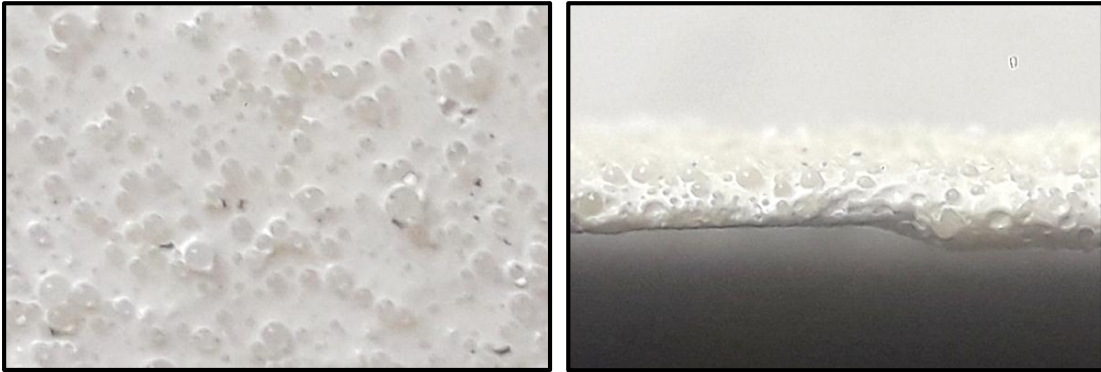
3.9.4 Observación de esferas incorporadas y perfectas

En la aplicación de la microesfera debe cuidar que la penetración sea entre el 60% a 65%. Penetraciones mayores o menores bajan la reflectividad. Es importante y preferible que la siembra sea más profunda que si fuera muy superficial, ya que con el tiempo la microesfera profunda aflorará, mientras que en el segundo caso habrá un desprendimiento prematuro.

Para conseguir una adecuada penetración se debe encontrar un equilibrio entre factores como la temperatura del material, temperatura ambiental, temperatura del pavimento asfáltico, altura y presión de las pistolas del equipo, dosis y tamaño de las microesferas.

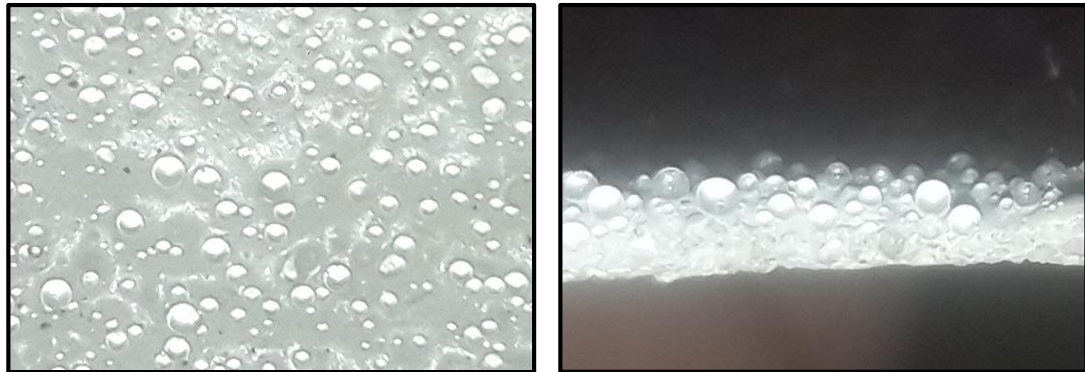
Considerando que el sembrado se realizó de forma manual se puede apreciar la incorporación de las microesferas en el termoplástico en las muestras extraídas, por ello se sacaron fotografía a la luz del día y fotografías de noche con flash para poder observar el brillo de reflectividad, como se muestran en las siguientes figuras:

Figura 73. Fotografía de día de la incorporación de microesferas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Fotografía de noche de la incorporación de microesferas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

- Se puede observar que se pudo obtener una penetración de las microesferas de vidrio correcta.

3.9.5 Medición de la reflectividad

La reflectividad o retro-reflectividad es uno de los parámetros más importantes a tomar en cuenta en la demarcación vial.

La reflectividad inicial depende de varios factores descritos a continuación:

- Tipo de microesferas; se utilizó microesferas Microlux Tipo I.
- Tipo de sembrado; se realizó sembrado manual.
- Momento de sembrado; sucesivamente con el termoplástico.
- Dosis de micro esferas; se adoptó 450 g/m².

- Penetración de microesferas; buena.

Para la medición de la reflectividad se recomienda utilizar un retro-reflectómetro para mayor exactitud, pero a falta de este equipo se procede a realizar la medición de reflectividad con luxómetro del Laboratorio de Arquitectura.

Figura 75. Luxómetro



Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Observación de la reflectividad después de la aplicación



Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Medición de la intensidad de la luz con el luxómetro



Fuente: Elaboración propia

Figura 78. Apreciación de la reflectividad desde un vehículo



Fuente: Elaboración propia

Según la última versión de “AASHTO M249-12 Thermoplastic”, la inicial y a lo largo de 180 días después de aplicado deberá mantener 325 mcd/lux/m² para blanco y 200 mcd/lux/m² para amarillo.

A continuación se presentan un resumen los datos obtenidos y las conversiones necesarias:

Tabla 40. Datos de distancia entre de los faros del vehículo a la señal

Datos:
Distancia entre los faros del vehículo a la señal horizontal sobre la calle Ingavi = 3,5 m
Distancia entre los faros del vehículo a la señal horizontal sobre la calle Federico A. = 4,5 m

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la retro-reflectancia se usó la siguiente formula:

$$\text{Retro reflectancia} = \text{lux} * (\text{distancia})^2$$

Tabla 41. Cálculo de la conversión los luxes a mcd/lux/cm² para la reflectividad

Lugar de medición calle Federico Ávila esquina calle Ingavi	Punto	Luxómetro						Valor Promedio	
		Medición 1		Medición 2		Medición 3		(lux)	(cd/m ²)
		(lux)	(cd/m ²)	(lux)	(cd/m ²)	(lux)	(cd/m ²)		
Calle Federico A.	1	16	324	16	324	15	303,75	15,67	317,25
Calle Federico A.	2	16	324	17	344,25	16	324	16,33	330,75
							Promedio	16,00	324,00
Calle Ingavi	3	27	330,75	27	330,75	26	318,5	26,67	326,67
Calle Ingavi	4	26	318,5	26	318,5	27	330,75	26,33	322,58
							Promedio	26,50	324,63

Fuente: Elaboración propia

- Nuestros valores se mantienen por debajo solo con 0,11% y 0,31% de acuerdo a la norma AASHTO M249-12, pero si consideramos el manual de la ABC estaríamos sobre el rango establecido que es de 300 mcd/lux/m². Las mediciones se realizaron 10 días después de su aplicación, y tomar en cuenta también, existieron obstaculizaciones al tomar la medida de la intensidad de la luz esto por la existencia de alumbrado público.

3.10 VERIFICACIÓN IN SITU DE LA INTERSECCIÓN PINTADA

La verificación in situ de la intersección pintada se realizó después de 63 días de realizar el pintado, para poder evidenciar cuales son las condiciones frente a los agentes atmosféricos.

Como se pueden observar en las figuras a continuación, se puede afirmar que la pintura termoplástica es resistente a los elementos climáticos, el calor no llega a deformar el material termoplástico considerando que el punto de ablandamiento es a las más de 100°C.

Al ser un material con componentes de resina plástica, no sufre ninguna decoloración ya sea por el calor o el agua.

El único problema que se percibe es el deslucido de la demarcación por la fricción con los neumáticos de los vehículos y por la presencia de polvos que llegan a tapar y opacar las demarcaciones.

Figura 79. Ensuciamiento de las demarcaciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 80. Verificación in situ de la intersección Federico Ávila e Ingavi



Fuente: Elaboración propia

3.11 EQUIPO DE FUNDICIÓN

El equipo utilizado para la aplicación práctica fue el ThermoLazer ProMelt System, con procedencia de los Estado Unidos, que permite fundir 300 lb (136kg) de termoplástico a bordo en menos de una hora, que permite realizar la aplicación con cabezal de extrusión (véase anexo VI).

3.11.1 Características del equipo

- **Sistema de manija Ease-Z-Steer**
 - Hace que manejar y girar sea simple.
 - Manija ajustable para usuarios de todos los tamaños.
- **Tecnología ProMelt**
 - Sistema de fundición de 4 cámaras: mayor superficie para fundir rápido el termoplástico.
 - 100 000 BTU: el tiempo más rápido de fundición significa que se puede hacer más trabajos todos los días.
- **Sistema SmartDie II**
 - Sistema de cambio rápido: matriz de acero templado con sistema incorporado de ajuste de espesor en mil.
 - Usable con o sin calor: le permite optimizar la marcación de líneas en todas las condiciones climáticas.
 - "Flota" con la superficie: coloca el termoplástico donde lo desea para una calidad superior de la línea
 - Sistema de calor externo: el sistema de calor de la matriz de 4 antorchas la mantiene caliente
- **Diseño ergonómico**
 - Más fácil de usar y casi sin esfuerzo para empujar/arrastrar.
- **Sistema LineDriver opcional**
 - Sistemas LineDriver y LineDriver HD adaptables para el sistema ThermoLazer 300 TC.
 - Para obtener una mayor productividad y líneas más rectas con menos fatiga.
 - Puede moverse el equipo entre trabajos sin tener que empujar.
 - Sistema de pedal doble: las posiciones múltiples permiten un simple movimiento hacia adelante y atrás.

Figura 81. Equipo de extrusión ThermoLazer ProMelt System



Fuente: Folleto de Graco de ThermoLazer

Figura 82. Tolvas o SmartDie II



Fuente: Folleto de Graco de ThermoLazer

3.11.2 Rendimiento del equipo ThermoLazer

Para el cálculo de rendimiento del equipo, se analizó los tiempos para el pintado de una cebra, tiempo de fundiciones a máxima capacidad y pérdidas existentes, obteniendo los siguientes cálculos:

Datos de pintado de una franja:

- Espesor de pintado promedio “e” = 1,97 mm.
- Distancia de marcado “d” = 3 m.
- Ancho de pintado “a” = 0,4 m.
- Tiempo de carga a la tolva “Tct” = 7 s.
- Tiempo de marcado “Tm” = 9 s.
- Tiempo de posicionamiento “Tp” = 11 s.

A continuación se calcula el volumen de pintado y tiempo variable de una franja:

$$\text{Vol. de pintado} = 3 \text{ m} * 0,4 \text{ m} * \left(1,97 \text{ mm} * \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}\right) = 0,0024 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo variable en una franja} = T_{ct} + T_m + T_p$$

$$\text{Tiempo variable en una franja} = 7 + 9 + 11 = 27 \text{ s}$$

Datos a considerar del material:

- Densidad de la pintura termoplástica “ρ” = 2,146 g/cm³
- Porcentaje de pérdidas por evaporación de gases “Pv” = 4,8%

Datos generales del equipo:

- Capacidad de carga en seco “Q” = 136 kg
- Tiempo de fundición a máxima capacidad “Tfu” = 40 min

A continuación se calcula parámetros a considerar para el rendimiento del equipo:

$$\text{Cantidad de carga fundida "Cf"} = \frac{Q}{\rho} = \frac{136 \text{ kg}}{2146 \text{ kg/m}^3} = 0,063 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad de carga real "Cr"} = C_f * (100 - \%P_v)$$

$$\text{Cantidad de carga real "Cr"} = 0,06 \text{ m}^3 * (100 - 4,8\%) = 0,0603 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo variable de una carga real} = \frac{27\text{s} * 1\text{min} * 0,0603 \text{ m}^3}{60 \text{ s} * 0,0024 \text{ m}^3} = 11,484 \text{ min}$$

Cálculo de tiempo fijo:

$$T_f = T_{fu} = 40 \text{ min}$$

Cálculo de tiempo de ciclo:

$$T_c = T_f + T_v$$

$$T_c = 40 \text{ min} + 11,484 \text{ min} = 51,484 \text{ min}$$

Cálculo del rendimiento del equipo ThermoLazer ProMelt:

$$\text{Rendimiento} = \frac{Cr}{T_c}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0,0603 \text{ m}^3 * 60 \text{ min}}{51,484 \text{ min} * 1 \text{ h}} = 0,095 \text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad de pintado se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Velocidad del equipo} = \frac{d}{t_v} = \frac{3 \text{ m}}{27 \text{ s}} = 0,11 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad del equipo} = 0,11 \text{ m/s} * \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 0,4 \text{ km/h}$$

- El ancho depende del ancho de tolva o Smart Die II que varía de acuerdo al tramo que se quiera pintar.

3.12 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PINTURA TERMOPLÁSTICA

3.12.1 Ventajas

- Una de las ventajas observadas es el ahorro en el tiempo de trabajo, tomando en cuenta que la demarcación de una cebra se realiza con una capa de pintura en menos de 1 min con el equipo adecuado, garantiza una mayor eficiencia en el trabajo de los obreros.
- Facilidad de aplicación, gracias a su estudiada formulación, la viscosidad a la temperatura de aplicación es la adecuada para una correcta nivelación, definición de bordes, adherencia al sustrato y a las microesferas sembradas.
- Considerando que para el secado completo del material es suficiente 5 min, esto permite reiniciar el tráfico vehicular de manera más rápida.
- Se puede aplicar el material con altos espesores.

- Resistencia a los agentes atmosféricos, teniendo una conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo y obteniendo una conservación del color a la temperatura de aplicación y después de su aplicado.
- La reflectividad permanente del termoplástico se debe a la incorporación de microesferas Intermix dentro su composición, que garantiza una reflectividad permanente a pesar del desgaste a través de su periodo de vida.
- En temporadas con temperaturas bajas, no presenta ningún inconveniente con el tiempo secado, inclusive el tiempo puede verse disminuido, lo que es contrario a las pinturas convencionales considerando que estas mientras más baja la temperatura, aumentan su tiempo de secado en un promedio de 4 horas (dato proporcionado por el Ing. Gustavo Chambi Gareca encargado de la Oficina de Diseño e Infraestructura de la Movilidad Urbana).
- El tiempo de vida útil es sin duda la mejor ventaja de pintar con termoplástico, considerando que en zonas de tráfico alto se estima una vida útil mínimo de 2 años, si este tráfico es menor, la vida útil puede llegar duplicarse, obteniendo una demarcación definida y permanente, lo que no se puede obtener con una pintura convencional cuya vida útil no sobre pasa los 3 meses en tráfico alto.

3.12.2 Desventajas

- Adhesión en concreto exige el requerimiento de imprimante.
- Una desventaja observada es el tiempo del secado de la imprimación que es de 30 min, que puede ser compensado con el tiempo de función del material termoplástico si estos dos se realizan al mismo tiempo.
- Los obreros necesitan equipos y técnicas especiales para su aplicación, deben ser previamente capacitados para la manipulación de este material.
- Se puede considerar como desventaja el problema que todas las pinturas de tráfico tienen como ser el ensuciamiento generado por los neumáticos de los vehículos, este problema es más presente en pasos peatonales; pero es importante mencionar que las marcas no son permanentes debido a las lluvias, estas proceden a limpiar las demarcaciones solas.

- Otra desventaja que todas las pinturas de tráfico sufren incluyendo el termoplástico, es la baja reflectividad presente bajo el agua, esto puede observarse en épocas de lluvias cuando estas alcanzan precipitaciones altas.

3.13 ANÁLISIS DE COMPARACIÓN ENTRE PINTURA TERMOPLÁSTICA “TERMOVIAL” Y PINTURA ACRÍLICA “INDUTIL”

Para poder realizar las respectivas comparaciones de estos dos productos, se opta por tabular sus características físico - mecánicas de cada uno.

La pintura Termovial XB H1, fue utilizado para la aplicación práctica de este proyecto y actualmente es el producto que la Secretaria de Movilidad Urbana está implementando para mejorar las demarcaciones en el área urbana de la ciudad de Tarija.

La pintura Indutil, fue el producto utilizado anteriormente para pintar las señales horizontales en las zonas urbanas de la ciudad de Tarija, es por este motivo que lo consideraremos para poder realizar la comparación.

Figura 83. Pintura Termovial vs pintura Indutil



Fuente: Elaboración propia y (Boletín técnico de la pintura Indutil, 2020)

La siguiente tabla se elaboró de acuerdo a sus especificaciones técnicas de cada producto (véase anexo II).

Tabla 42. Comparaciones de las características de la pintura Termovial e Indutil

Características	Termovial		Indutil	
Topo de pintura	Termoplásticos		Acrílica de estireno a base solvente	
Formula del material	Seco en polvo		Líquido	
Peso específico	1,95 - 2,15 g/cm ³		1,4 g/cm ³ mínimo	
Color blanco: Coordenadas cromáticas	X	Y	X	Y
	0,355	0,355	0,355	0,355
	0,305	0,305	0,305	0,305
	0,285	0,325	0,285	0,325
	0,335	0,375	0,335	0,375
Volumen de sólidos	100%		50%	
Microesferas premezcladas	30 - 40%		200 a 250 g/l	
Rendimiento	Con E= 3 mm 6 a 7 kg/m ²		Con E= 0,4 mm 45 m ² por balde	
	Con E = 2,3 mm 5 m ² por bolsa		Con E= 0,6 mm 30 m ² por balde	
Tiempo de secado	4 a 6 min a temperatura ambiente de 25°C.		30 min a temperatura ambiente con 25°C.	
Dosificación de microesferas	300 a 500 g/m ²		300 a 400 g/m ²	
Pavimentos	Asfálticos y concretos		Asfálticos y concretos	
Normas de fabricación	AASHTO M429 -08 Especificación estándar para termoplásticos blanco y amarillo para demarcación		ABNT/NBR 15,405 Señalización vial horizontal	
Empaque	Sacos plásticos de 25 kg.		Balde metálico 18 litros.	

Fuente: (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020) y (Boletín técnico de la pintura Indutil, 2020)

Tabla 43. Comparación de ventajas de pintura Termovial e Indutil

Ventajas	
Termovial	Indutil
Durabilidad de 2 años mínimo	Durabilidad baja de 3 meses máximo
Buena adherencia sobre asfalto y hormigón	Adherencia limitada en asfálticos nuevos
Rápida liberación al tránsito sin importar el clima.	Rápida liberación del tránsito dependiendo del clima (climas fríos de 3 a 4 horas)
Altos espesores	Espesor no supera los 0.6 mm en húmedo.
Reflectividad duradera ante al desgaste	Reflectividad baja frente al desgaste
Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo	Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo
Resistencia a los elementos climático	Resistencia a los elementos climático
Conservación del color a la temperatura de aplicación y luego del aplicado	Conservación del color a la temperatura de aplicación y luego del aplicado
Amigable con el medio ambiente	No es amigable con el medio ambiente

Fuente: (APV.S.A., 2016); (Boletín técnico de la pintura Indutil, 2020); (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020) y (VIAL, s.f.)

Tabla 44. Comparación de desventajas de la pintura Termovial e Indutil

Desventajas	
Termovial	Indutil
Adhesión en concreto requiere imprimación	No se requiere imprimación
Tiempo de secado de imprimación 30 min	No se necesita imprimación
Equipos y técnicas especiales de aplicación	No se requiere capacitaciones para su empleo
Posible desigualdad de la línea de demarcado al momento de pintado, por la complicada manipulación del equipo.	No se presentan desigualdades, uniformidad de la línea.
Ensuciamiento de las demarcaciones por los neumáticos	Ensuciamiento de las demarcaciones por los neumáticos
Baja reflectividad bajo el agua	Baja reflectividad bajo el agua

Fuente: (APV.S.A., 2016); (Boletín técnico de la pintura Indutil, 2020); (Especificación técnica Termovial XB H1, 2020)

3.14 PRECIOS UNITARIOS COMPARATIVOS ENTRE PINTURA TERMOPLÁSTICA CON PINTURA CONVENCIONAL

Cuando se realiza una construcción civil, se busca la mejor manera de realizar un presupuesto de obra en base a cantidades medidas de materiales, mano de obra, y herramientas utilizadas.

Si no se tienen conocimientos de presupuestos, parecería lógico hacer este presupuesto en base a cantidades de los elementos desglosados más básicos

Para plasmar los precios unitarios, se trabajó con los materiales y equipos utilizados en la aplicación práctica con pintura Termoplástica, y para la pintura convencional se escogió el tipo de pintura utilizada antes de la implementación del nuevo material en Tarija, que era la pintura Indutil Brasileira.

Los datos de costos se obtuvieron de la empresa Vezla S. R. L. de la factura de adquisición de los productos para pintar con pintura termoplástica (véase anexo VIII).

Tabla 45. Costos de los materiales para demarcación

Material	Costo
Balde de pintura Indutil blanca de 18 lts.	750 bs
Saco de Microesferas de vidrio Microlux tipo I de 25 kg	280 bs
Balde imprimante Primex 20ltr.	670 bs
Bolsa de pintura Termovial blanca de 25 kg	390 bs

Fuente: Elaboración propia

Los datos de rendimientos de cada material se obtuvieron de las fichas técnicas de cada producto (véase anexo II).

Los rendimientos y pagos por hora de los obreros y técnicos fueron proporcionados por el ingeniero encargado de la Oficina de Diseño e Infraestructura de la Movilidad Urbana

Para el rendimiento del equipo se utilizó el calculado anteriormente, se consideró el espesor máximo de 3 mm según norma para pintado en m²:

$$Rendimiento = \frac{Cr}{Tc * e}$$

$$Rendimiento = \frac{0,0603 \text{ m}^3 * 60 \text{ min}}{51,484 \text{ min} * 1 \text{ h} * \frac{3 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} * 1 \text{ m}} = 23,44 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$\text{Tiempo de pintado por metro cuadrado} = \frac{1\text{m}^2 * 1\text{ h}}{23,44\text{ m}^2} = 0,043\text{ h}$$

El costo de operación por hora del equipo se procedió a calcularlo de la siguiente manera:

- Cálculo del costo de depreciación

Datos:

- Valor de adquisición = 30000\$
- Vida útil de la maquina = 8 años¹⁸

$$\text{Porcentaje de rescate} = \frac{100}{8\text{ años}} = 12,5\%$$

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{costo del vehículo} - \text{valor de rescate}}{\text{vida economica}}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{(30000\text{ \$} * 6,9\text{bs/\$}) - (30000\text{ \$} * 6,9\text{bs/\$} * 0,125)}{8\text{ años} * 365\frac{\text{días}}{\text{año}} * 24\text{h/día}} = 2,585\text{ bs/h}$$

- Cálculo del costo de mantenimiento

Datos:

- Costo anual de mantenimiento = 200 bs

$$\text{Vida económica} = 8\text{ años} * 365\frac{\text{días}}{\text{año}} * 24\frac{\text{h}}{\text{día}} = 70080\text{ h}$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = \frac{\text{costo anual de mantenimiento} * \text{vida útil}}{\text{Vida económica}}$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = \frac{200\text{ bs} * 8\text{ años}}{70080\text{ h}} = 0,023\text{ bs/h}$$

- Cálculo del costo de combustible

Datos:

- Costo de garrafa puesta en obra = 28 bs
- Rendimiento de una garrafa = 7 h

¹⁸ (Bolivia Impuestos Blog, 2021)

$$\text{Costo combustible} = \frac{\text{costo de garrafa}}{\text{tiempo de duracion}}$$

$$\text{Costo combustible} = \frac{28 \text{ bs}}{7 \text{ h}} = 4,667 \text{ bs/h}$$

- Costo de lubricante

Datos:

- Costo del aceite = 50 bs
- N° de cambios de aceite al año = 4 veces
- Litros de aceite por cambio = 2lts.

$$\text{Costo de lubricante} = \frac{\text{Costo de lubricante} * \text{N}^\circ \text{lts} * \text{N}^\circ \text{cambios al año}}{365 \text{ día/año} * 24 \text{ h/día}}$$

$$\text{Costo de lubricante} = \frac{50 \text{ bs} * 2 \text{ lts} * 4}{365 \text{ día/año} * 24 \text{ h/día}} = 0,046 \text{ bs/h}$$

- Costo de cambio de llantas

Datos:

- Costo de una llanta delantera = 45 bs
- Costo de una llanta trasera = 80 bs

$$\text{Costo llantas} = \frac{\text{Suma de costos de cada tipo de llanta /año}}{365 \text{ días/año} * 24 \text{ h/día}}$$

$$\text{Costo llantas} = \frac{(45 \text{ bs} + 80 \text{ bs}) / \text{año}}{365 \text{ días/año} * 24 \text{ h/día}} = 0,015 \text{ bs/h}$$

- Sumatoria de costos

$$\text{Costo por hora del Equipo ThermoLazer ProMelt} = 7,33 \text{ bs/h}$$

A continuación se puede apreciar los precios unitarios de ambas pinturas:

Tabla 46. Precios unitarios de demarcación con pintura asfáltica convencional

Análisis de precios unitarios

Proyecto: Demarcación de señales horizontales de tráfico

Actividad : Pintado de señales viales con pintura Indutil

Unidad : m²

Cantidad: 1

Descripción		Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Precio Total (Bs)
1 Materiales					
1	Pintura Indutil Brasilera e =0,6 mm	lts	0,6	41,67	25,00
2	Pintura Microlux	kg	0,45	11,20	5,04
Total Materiales					30,04
2 Mano de Obra					
1	Obrero	Hr	0,10	12,50	1,27
Sub Total Mano de Obra					1,27
Cargas Sociales 55% del sub total M. O.					0,70
Impuestos IVA M.O. = (14,94% del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					0,29
Total Mano de Obra					2,26
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1					
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					0,11
Total Eq, Maq. y Herr.					0,11
4 Gastos Generales y Administrativos					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					3,24
5 Utilidad					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					3,57
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					1,21
Total Ítem Precio Unitario					40,44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Precios unitarios de demarcación con pintura termoplástica

Análisis de precios unitarios

Proyecto: Demarcación de señales horizontales de tráfico

Actividad: Pintado de señales viales con termoplástico XB H1

Unidad: m²

Cantidad: 1,00

Ítem: Demarcación de señales viales		Unidad: m²			
Descripción		Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Precio Total (Bs)
1 Materiales					
1	Pintura tipo termoplástica	kg	5,00	15,60	78,00
2	Pintura Microlux	kg	0,45	11,20	5,04
3	Primer sellador Primex	lts	0,25	33,50	8,38
Total Materiales					91,42
2 Mano de Obra					
1	Técnico	Hr	0,05	18,75	0,95
2	Obrero	Hr	0,31	12,50	3,81
Sub Total Mano de Obra					4,77
Cargas Sociales 55% del sub total M. O.					2,62
Impuestos IVA M.O. = (14,94% del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					1,10
Total Mano de Obra					8,49
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	ThermoLazer	hr	0,043	7,33	0,31
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					0,42
Total Eq, Maq. y Herr.					0,74
4 Gastos Generales y Administrativos					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					10,06
5 Utilidad					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					11,07
6 Impuestos					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					3,76
Total Ítem Precio Unitario					125,54

Fuente: Elaboración propia

3.14.1 Comparación de costos de pintado de señales horizontales con referencia al costo con pintura convencional

Comparando de acuerdo a los valores en los análisis de precios unitarios desarrollados:

$$\text{Diferencia de Precios} = 125,54 \text{ bs} - 40,44 \text{ Bs} = 85,10 \text{ bs}$$

$$\text{Diferencia en porcentaje} = \frac{85,1 \text{ bs}}{40,44 \text{ bs}} * 100\% = 210,44\%$$

El siguiente apartado se expone en la siguiente tabla.

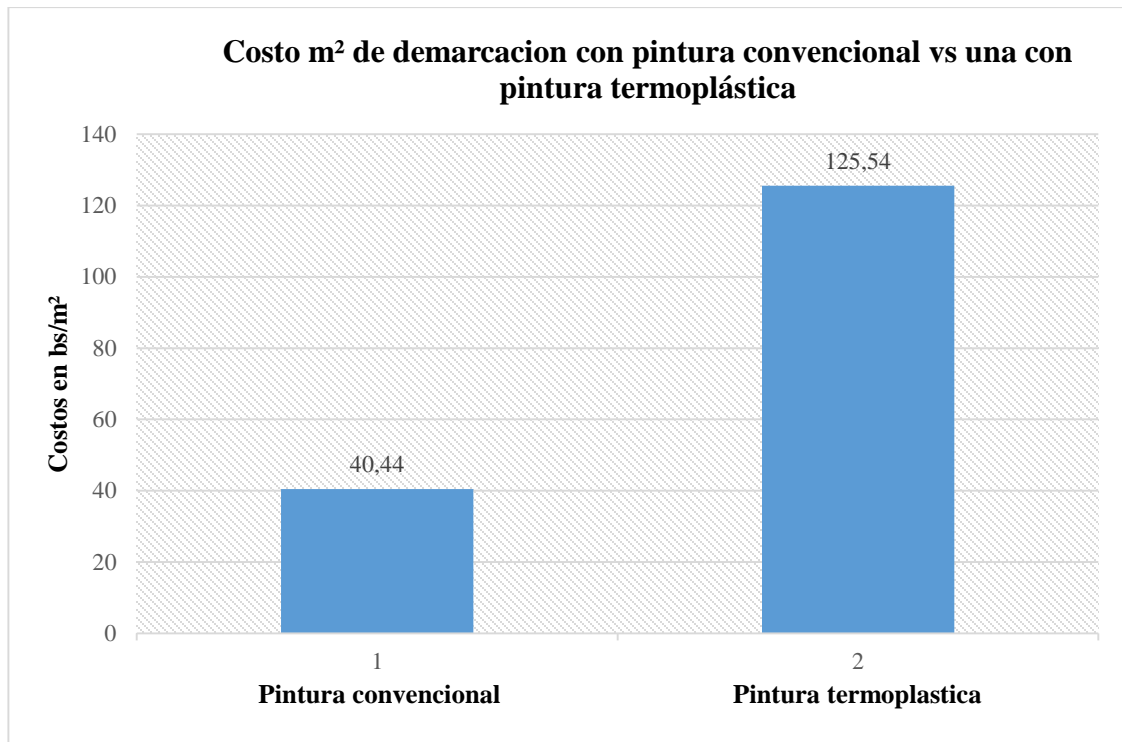
Tabla 48. Diferencias de costos unitarios de las pinturas para señales de tráfico

Material	Pintura convencional (Indutil)	Pintura termoplástica (Termovial)
Costo bs /m ²	40,44	125,54
Diferencia en bolivianos	-	85,10
Diferencia en (%)	-	210.44

Fuente: Elaboración propia

En los precios unitarios se observa que el costo de la demarcación con pintura convencional es de 40,44 Bs/m² y de 125,54 Bs/m² de demarcación con pintura termoplástica, se presta atención a la variación considerable en el precio de las de las demarcaciones, teniendo un aumento de 210,44 % más del triple con respecto a la pintura convencional.

Gráfico 4. Comparación de costos de demarcación, pintura Indutil vs Termovial



Fuente: Elaboración propia

3.15 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

La demarcación con termoplástico aumenta el costo de la señalización, pero no es una excusa para no utilizar este material, considerando el periodo de vida útil del mismo.

Datos:

Vida útil de la pintura termoplástica = 2 años

Vida útil de la pintura acrílica a base solvente = 3 meses

Pecio unitario de la pintura termoplástica = 125,54 bs/m²

Pecio unitario de la pintura acrílica a base solvente = 40,44 bs/m²

Periodo de mantenimiento: cada = 2 años

$$N^{\circ} \text{ pintadas de P. acrilicas} = \frac{1 \text{ pintada} * 12 \text{ mes/año}}{3 \text{ mes}} = 4 \text{ pintadas/año}$$

$$N^{\circ} \text{ pintadas de P. acrilica c/2 años} = 2 \text{ años} * 4 \frac{\text{pintadas}}{\text{año}} = 8 \text{ pintadas}$$

N° pintadas de P. termoplastica c/2 años = 1 pintada

Costo de mantenimiento = N° pintadas * precio unitario

Costo de mantenimiento P. acrilica = $8 * 40,44 \text{ bs/m}^2 = 323,52 \text{ bs/m}^2$

Costo de mantenimiento P. termoplastica = $1 * 125,54 \text{ bs/m}^2 = 125,54 \text{ bs/m}^2$

3.15.1 Comparación de costos de mantenimiento cada dos años entre pintura termoplástica y pintura convencional

Comparando de acuerdo a los valores en los análisis de mantenimiento desarrollados:

$Diferencia \text{ de Precios} = 323,52 \text{ bs} - 125,54 \text{ bs} = 197,98 \text{ bs}$

$Diferencia \text{ en porcentaje} = \frac{197,98 \text{ bs}}{323,52 \text{ bs}} * 100\% = 61,20 \%$

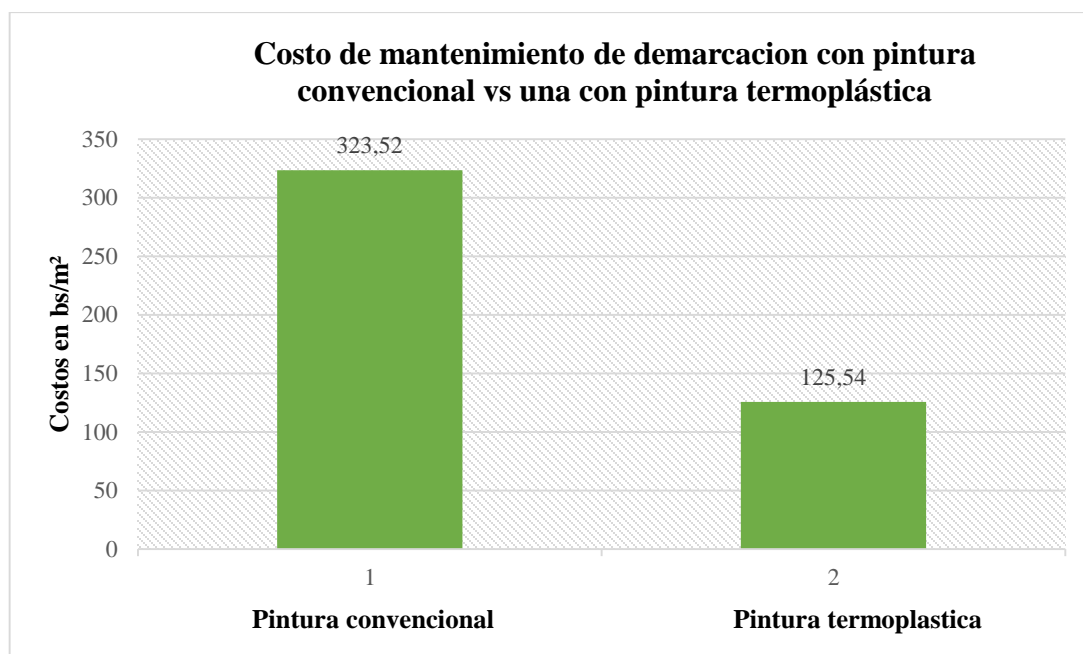
El siguiente apartado se expone en la siguiente tabla.

Tabla 49. Diferencias de costos de mantenimiento de pinturas para señales de tráfico

Material	Pintura convencional (Indutil)	Pintura termoplástica (Termovial)
Costo de mantenimiento cada 2 años Bs /m ²	323,52	125,54
Diferencia en bolivianos	197,98	-
Diferencia en (%)	61,20	-

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Comparación de costos en el mantenimiento de demarcación



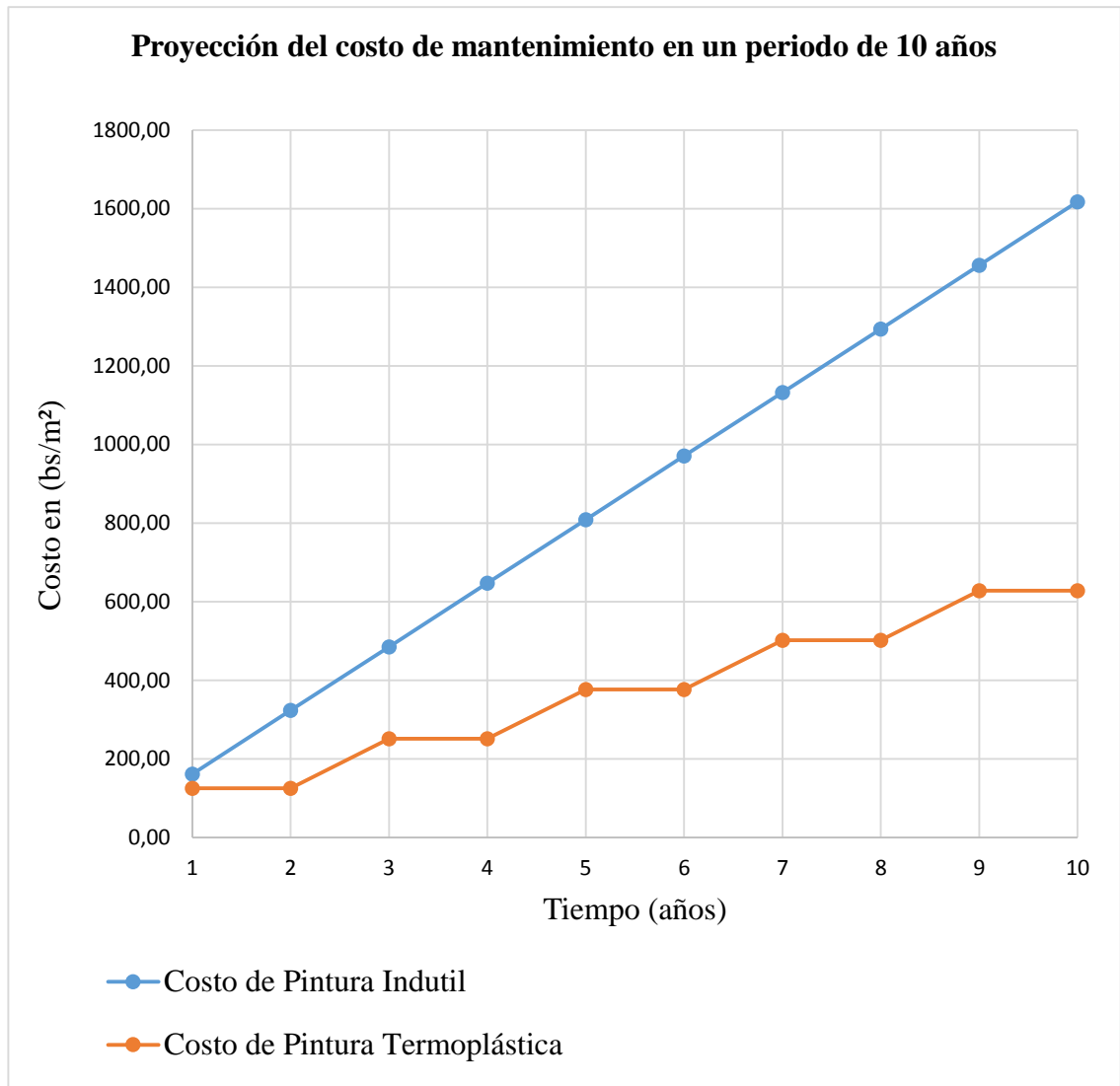
Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Costos de inversión en mantenimiento a través del tiempo

Costos de inversión en mantenimiento en un periodo de 10 años		
Nº Años	Pintura Indutil	Pintura termoplástica
1	161,76	125,54
2	323,52	125,54
3	485,28	251,08
4	647,04	251,08
5	808,80	376,62
6	970,56	376,62
7	1132,32	502,16
8	1294,08	502,16
9	1455,84	627,70
10	1617,60	627,70

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Observación del costo de inversión en mantenimiento a través del tiempo



Fuente: Elaboración propia

Conforme a lo observado en la tabla 50 y gráfico 6, se considera que la utilización de la pintura termoplástica es una de las mejores opciones en cuanto a inversión a largo plazo tomando en cuenta el transcurso del tiempo, y el mantenimiento necesario que se le debe realizar a las señalizaciones horizontales de tránsito.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se establecieron las dimensiones del paso peatonal de la intersección considerando lo especificado en la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC, llegando a tener un ancho de paso peatonal de 3 m. todo esto previa inspección técnica a la intersección de las calles Federico Ávila e Ingavi.
- Se establecieron las especificaciones técnica tanto del imprimador Premix, como de las microesferas Microlux, llegando a la caracterización de esta última para confirmar el cumplimiento de las normas AASHTO M -427 lo cual resulto satisfactorio tanto en la granulometría como en el peso específico que es 2,4gr.
- Se realizó la caracterización del material termoplástico Termovial XB H1 dando como conclusión que cumplen con las especificaciones de los ensayos desarrollados en la normativa AASHTO M249-08 “Materiales Termoplástico Blanco y Amarillo para Demarcaciones Vial”, con un valor de peso específico de Termoplástico de 2.146 gr, un tiempo de secado de 260 s, sin presencia de agrietamiento a temperaturas bajas, con un punto de ablandamiento de 11,8°C en promedio, presentando un porcentaje de residuos de 17,74% en el ensayo de fluidez, como así también obteniendo un 28% en residuo en el ensayo de calentamiento extendido, valores admisibles según la norma.
- Luego de caracterizar a los materiales que componen una demarcación con pintura Termoplástica, se realiza la demarcación con la pintura termoplástica en la intersección estudiada, esta aplicación es posible gracias al trabajo con junto con la Secretaria de Movilidad Urbana del Gobierno Autónomo de Tarija, mediante el apoyo con el equipo fundidor ThermoLazer ProMelt System con capacidad de fundición de 135 kg de material Termoplástico.
- Se realizó la respectiva limpieza y marcado con las dimensiones establecidas, se aplicó la imprimación y en el proceso de fundición del termoplástico se verifico que las temperaturas de empleo no superarán los 210°C.

- Se calibro los espesores a los culés se debe aplicar la pintura termoplástica y se calibro la dosis de microesferas a incorporar, esta incorporación se realizó manualmente con 540 g de microesfera para cada franja de 1,2 m².
- Se hizo el control de calidad a la aplicación mediante una prueba de adherencia la cual fue satisfactoria, en el laboratorio se midió los espesores y anchos de franja con precisión obteniendo valores dentro lo establecido en las especificaciones, para poder observar el porcentaje de incorporación de las microesferas se tomaron fotografías que respaldan una buena incorporación, y por último se realizó la medida de la reflectividad con un luxómetro, obteniendo valores que cumplen con lo establecido en la norma ABC.
- Se pudo observar como un pavimento húmedo o mojado genera burbujas de aire al aplicar el material termoplástico, formando porosidades en el cuerpo de la pintura, esto podría ocasionar un ensuciamiento acelerado por el tráfico.
- En cuestión de tiempo de empleo es sin duda una excelente elección utilizar materiales termoplástico en caliente, tomando en cuenta los ensayos en laboratorio y en obra, la diferencia de secado es mínima obteniendo valores de 4,8 min en laboratorio y 5 min en obra esto puede ser más acelerado de acuerdo al clima que se tiene en el momento de aplicación; mientras que en comparación con la pintura convencional el tiempo de aplicación y de secado superan más de una hora.
- En el análisis de precios unitarios del demarcado con pintura convencional se tiene un costo de 40,44 bs/m² y de la demarcación con pintura termoplástica se tiene un costo de 125,54 bs/m², presentando un aumento en el costo de 210,44 % lo cual es un indicador desfavorable, pero no para considerar no colocar este material al momento de mejorar las condiciones de nuestras señales de tránsito largo plazo.
- Se estima una inversión más económica en cuestión de mantenimiento; al material termoplástico se le estima una vida útil de más de 3 años dependiendo del volumen del tráfico vehicular, considerando un periodo de vida útil mínimo de 2 años, y comparando con el periodo de vida útil mínimo de la pintura convencional que no es más de 3 meses, en temas de inversión económica para proyecto a largo plazo es sin duda el empleo del material termoplástico una de las mejores opciones para el pintado de señales de tránsito. Hay que considerar que en periodo de 2 años el

costo de pintura termoplástica es de 125,17 bs/m², a comparación de la pintura Indutil que es 323,52 bs/m², con una rebaja de 61,20 % en todo el periodo mínimo útil.

- Finalmente en función a todos los ensayos realizados y resultados analizados se verifica la hipótesis dando viable al uso de materiales termoplásticos como material para mejorar la señalización en zonas urbanas con alto índice de tráfico.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es primordial hacer la adquisición de materiales que contengan sus especificaciones técnicas para realizar la comparación con las normas bajo las cuales el producto sale a la venta.
- Es importante realizar los ensayos de caracterización, a todos los materiales que se lleguen a emplear para una demarcación, y verificar así que sus especificaciones cumplan con las normativas establecidas.
- Se debe tener conocimiento del procedimiento de los ensayos que se realizará para evitar accidentes y fallas al momento de determinar el valor que se requiere, así también utilizar el equipo adecuado para cada ensayo, es imprescindible para obtener los valores exactos; realizar ensayos artesanales nos pueden brindar el valor que necesitamos, pero no el exacto.
- Tener en cuenta las normas de seguridad que rigen en los laboratorios, especialmente cuando se manipula materiales calientes más aún si se trata de productos como el termoplástico que son trabajables a más de 210°C, debido a las quemaduras de primer y segundo grado que pueden ocasionar en un descuido de rose con la piel, también pueden generarse incendios debido a que tienen cierto grado de inflamación, es importante mencionar los gases tóxicos que puede desprender provocadas por las altas temperaturas superiores a las establecidas.
- Si bien el uso de termoplásticos no es una alternativa reciente se debe tomar en cuenta que está evolucionando constantemente, es por eso que se recomienda al momento del uso de estos materiales utilizar una base a sus últimos estudios.
- Tomando como aspecto técnico el uso de materiales termoplásticos en caliente es el más recomendado para este caso de acuerdo con nuestro criterio.