



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Micropavimento: Alternativa técnico-económica para la pavimentación del  
Asentamiento Humano Lomas de Marchan-Pucusana/Lima, 2017”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Coronel Fonseca, Orlando

**ASESOR:**

**Ing. Jorge John Gabriel Beltrán**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de infraestructura vial

**LIMA-PERÚ**

**2017**

**Página del Jurado**



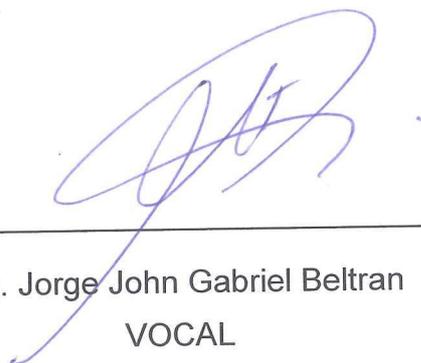
---

**Mg. César Teodoro Arriola Prieto**  
**PRESIDENTE**



---

**Mg. Raúl Heredia Benavides**  
**SECRETARIO**



---

**Mg. Jorge John Gabriel Beltran**  
**VOCAL**

## **Dedicatoria**

A, mi madre, esposa y a  
nuestros hijos: por su apoyo  
incondicional

## **Agradecimientos**

Profundo agradecimiento al Ing. Julio César Minchola Delgado, por su apoyo y su contribución a lo largo del proceso del desarrollo de la carrera.

Al Ing. Jorge Yamunaque Miranda, por su asesoramiento, asistencia y sugerencias.

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, Orlando Coronel Fonseca, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo de Lima, identificado con DNI 166660602.

Declaro bajo juramento que:

Soy autor de la tesis titulada: “Micropavimento: Alternativa Técnico-Económica para la Pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan-Pucusana/Lima” la, misma que presento para optar el título de INGENIERO CIVIL.

La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, habiéndose respetado las normas nacionales e internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad César Vallejo de Lima.

Lima, Setiembre del 2017

Orlando Coronel Fonseca  
DNI 166660602

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

Pongo a su disposición la tesis titulada "*Micropavimento: Alternativa Técnico-Económica para la Pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan Pucusana/Lima*", en cumplimiento a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos para optar el título de Ingeniero Civil de la Universidad "Cesar Vallejo".

El objetivo de la presente tesis es presentar una alternativa técnico económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan en Pucusana – Lima a través de la Micropavimentación. Por ello, es importante conocer la realidad problemática existente para poder definir si el proyecto y las alternativas a presentar serán viables.

La información se ha estructurado en seis capítulos teniendo en cuenta el esquema de investigación sugerido por la universidad. En el capítulo I, se ha considerado de la introducción de la tesis. En el capítulo II, se registra la metodología utilizada. En el capítulo III, se consideran los resultados. En el capítulo IV, se indica la discusión de los resultados obtenidos. En el capítulo V, se considera las conclusiones. En el capítulo VI se consideran las recomendaciones. Por último, se considera las referencias bibliográficas y los anexos de la investigación.

El autor

## ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimientos .....	IV
DECLARACIÓN JURADA .....	V
PRESENTACIÓN.....	VI
ÍNDICE.....	1
RESUMEN .....	7
ABSTRACT.....	8
I. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Realidad Problemática .....	10
1.2 Trabajos Previos .....	11
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	14
1.3.1 Definiciones .....	14
1.3.2. Marco Conceptual .....	16
1.4. Formulación del problema .....	37
1.4.1 Problema general.....	37
1.4.2 Problemas específicos .....	37
1.5 Justificación del estudio .....	38
1.6 Hipótesis.....	40
1.6.1 Hipótesis general .....	40
1.6.2 Hipótesis específicas .....	40
1.7 Objetivos .....	40
1.7.1 General .....	40
1.7.2 Específicos.....	40

II. METODOLOGÍA .....	41
2.1 Diseño de investigación.....	41
2.1.1 Método: .....	41
2.1.2 Tipo:.....	41
2.2 Variables, Operacionalización .....	41
2.2.1 Variables.....	41
2.2.2 Operacionalización.....	42
2.3 Población y muestra .....	43
2.3.1 Población .....	43
2.3.2 Muestra .....	43
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ..	43
2.5 Métodos de análisis de datos .....	44
III. RESULTADOS.....	45
3.1 Diseño estructural del pavimento propuesto .....	45
3.1.1 Parámetros del Diseño estructural .....	45
3.1.2 Metodología de Diseño Estructural .....	45
3.2 Diseño del revestimiento con Micropavimento Asfáltico en Frío (MPAF) ....	47
3.2.1 Criterio para elegir el espesor del revestimiento con MPAF .....	47
3.2.2 Agregados.....	47
3.2.3 Especificaciones técnicas .....	56
3.2.4. Ensayo para mezclas de MPAF .....	66
3.2.5. Aspectos técnicos y económicos para el diseño del MPAF .....	78
IV. DISCUSIÓN.....	81
4.1 Comparativo de Costos - alternativa convencional y la propuesta .....	81
4.1.1 Análisis de Precios Unitarios .....	81
4.1.2 Presupuestos .....	83
4.1.3 Resumen - Comparativo de Costos.....	84

V. CONCLUSIONES .....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	89
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS .....	93
ANEXO N° 01: Matriz de consistencia .....	94
ANEXO N° 02: ENSAYOS DE CBR DE LA SUB-RASANTE Y LA BASE GRANULAR .....	95
ANEXO N° 03: Informe de diseño del MPAF .....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las emulsiones asfálticas .....	24
Tabla 2: Especificaciones de las emulsiones asfálticas.....	25
Tabla 3: Resultados granulometría de la arena chancada cantera “Crushing” .....	48
Tabla 4: Usos Granulométricos .....	49
Tabla 5: Precios Unitarios de pavimento con MAC .....	81
Tabla 6: Precios Unitarios de pavimento con MPAF .....	82
Tabla 7: Costos de pavimento con MAC .....	83
Tabla 8: Costos de pavimento con MAPF .....	84
Tabla 9: Costos directos globales .....	84
Tabla 10: Costos directos parciales .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una emulsión .....	17
<i>Figura 2: Esquema de una emulsión aniónica y de una catiónica</i> .....	20
Figura 3: Esquema de una planta de fabricación de emulsiones asfálticas .....	22
Figura 4: Esquema de la nomenclatura según la norma ASTM D2397 .....	24
Figura 5: Camión-Planta para aplicación de MPAF .....	30
Figura 6: Esquema de aplicación de Micropavimento .....	31
Figura 7: Caja esparcidora .....	32
Figura 8: Diferentes tipos de barredoras mecánicas para limpieza de la vía .....	33
Figura 9: Cargador Frontal .....	33
Figura 10: Compactación de la capa de base granular .....	35
Figura 11: Colocación del MPAF .....	35
Figura 12: Vía liberada al tránsito peatonal y vehicular .....	36
Figura 13: Espesores de capa de revestimiento granular .....	46
<i>Figura 14: Sección del pavimento</i> .....	47
Figura 15: Ensayo de Equivalente de arena .....	50
Figura 16: Ensayo de Azul de Metileno .....	52
Figura 17: Equipo de Abrasión, ensayo de Desgaste de Los Ángeles .....	53
Figura 18: Ensayo de Durabilidad .....	55
Figura 19: Cemento Portland Tipo I (Filler mineral) .....	56
Figura 20: Equipamiento para determinación de la Viscosidad Saybolt Furol .....	57
Figura 21: Ensayo para determinar el grado de sedimentación con el tiempo de almacenamiento .....	58
Figura 22: Equipo para Determinación de Demulsibilidad .....	59
Figura 23: Ensayo de Mezcla con Cemento .....	61
Figura 24: Ensayo de Tamizado de la emulsión asfáltica .....	62
Figura 25: Equipo para la prueba de destilación de emulsiones asfálticas .....	64
Figura 26: Equipo para determinar la Penetración del Residuo Asfáltico .....	65
Figura 27: Secado en horno del agregado .....	67
Figura 28: Mezclado de la muestra .....	68
Figura 29: Ensayo de cohesión - cohesímetro .....	70
Figura 30: Ensayo de abrasión en vía húmeda .....	71

Figura 31: Contenido mínimo de asfalto, a abrasión por vía húmeda - WTAT.....	72
Figura 32: Muestras para ensayo de la rueda cargada - LWT.....	74
Figura 33: Curva de contenido máximo de asfalto .....	75
Figura 34: Grafica del contenido óptimo de asfalto, por combinación de curvas. .	76
Figura 35: Prueba de Cono para morteros asfálticos. ....	77
Figura 36: Equipo de Schulze-Breuer y Ruck.....	78
Figura 37: Muestras ensayadas después del hervido .....	78

## RESUMEN

La presente tesis tiene por título: “Micropavimento: alternativa técnico-económica para la pavimentación del asentamiento humano Lomas de Marchan-Pucusana/Lima”, cuyo objetivo principal es Determinar si la micropavimentación es la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima.

El método de investigación es científico, de tipo aplicativo, siendo la población el Asentamiento Humano Lomas de Marchan en Pucusana – Lima, y la muestra la Calle Independencia de dicho Asentamiento Humano.

En la presente tesis se determinaron 10 conclusiones, entre las cuales se destaca que se realizaron en laboratorio ensayos de CBR (California Bureau Ratio) del suelo sub-rasante y del afirmado de Base Granular y se consideró la circulación de vehículos ligeros. El paquete estructural del pavimento se diseñó por el método de diseño Australiano dando como resultado un espesor necesario de base granular de 25 cm. Se demostró que la alternativa de pavimentación empleando como revestimiento el MPAF en las vías urbanas de bajo tránsito del Asentamiento Humano Las Lomas de Marchan/Pucusana-Lima, presenta ventajas técnicas, económicas y ecológicas; las cuales redundan en la posibilidad de ejecutar mayor número de obras en menor tiempo y con menor inversión.

**Palabras clave:** Micropavimento, alternativa técnico – económica, mezclas asfálticas, vías urbanas, bajo tránsito, revestimiento, lechada asfáltica.

## ABSTRACT

This thesis has the title: "Micropavimento: technical-economic alternative for the paving of the human settlement Lomas de Marchan-Pucusana / Lima", whose main objective is to determine if micro-paving is the best technical-economic alternative for the paving of the Human Settlement Lomas de Marchan, in Pucusana / Lima.

The research method is scientific, of applicative type, the population being the Lomas de Marchan Human Settlement in Pucusana - Lima, and the Independencia Street shows that Human Settlement.

In the present thesis, 10 conclusions were determined, among which it is noteworthy that CBR (California Bureau Ratio) tests were carried out in the subgrade and the Granular Base laboratory and the circulation of light vehicles was considered. The structural paving package was designed by the Australian design method resulting in a necessary granular base thickness of 25 cm. It was demonstrated that the alternative of paving using as a coating the MPAF in the urban roads of low traffic of the Human Settlement Las Lomas de Marchan / Pucusana-Lima, presents technical, economic and ecological advantages; which result in the possibility of executing more works in less time and with less investment.

**Keywords:** Micropavimento, technical-economic alternative, asphalt mixtures, urban roads, low traffic, coating, asphalt grout.

## I. INTRODUCCIÓN

El mayor problema de las vías urbanas de bajo tránsito en la ciudad de Lima y el interior del país es en general la falta de pavimento y en el mejor de los casos de una superficie de rodadura o revestimiento, lo cual genera desconfort, polvaredas, deterioro mecánico de los vehículos de transporte, escasa valorización de las construcciones; es decir, un bajo estándar de vida de los pobladores de la zona.

En la realidad peruana la pavimentación es convencional, revestido con una carpeta de Concreto Asfáltico en caliente de 5cm de espesor, práctica que por la sofisticación que significa instalar una planta de fabricación de MAC (Mezcla Asfáltica en Caliente) a distancias considerables de zonas residenciales y lo que involucra su entorno, resulta costosa, además de impactar considerablemente el medio ambiente.

A nivel mundial, el avance tecnológico en el desenvolvimiento de mezclas asfálticas viales ha alcanzado altas sofisticaciones y performance, debido a diferentes razones, como:

- Practicidad de aplicación, para interrumpir mínimamente el tránsito en la vía tratada,
- Fabricación, manipulación y colocación del producto a temperatura ambiente, en una sola pasada,
- Minimizar emisión de gases tóxicos por sobrecalentamiento de hidrocarburos, preservando el medio ambiente,
- Alto desempeño en vida de servicio, y
- Reducción de costos unitarios de producción y colocación.

En tal sentido, el desafío es aprovechar estas técnicas de mezclas asfálticas con micro-agregados y ligantes emulsionados modificados con polímeros, que permitan aplicar a temperatura ambiente, espesores milimétricos como revestimiento para un pavimento de vía urbana de bajo tránsito.

## 1.1 Realidad Problemática

La falta de pavimentación en las vías urbanas de bajo tránsito de la ciudad de Lima lo hace uno de los mayores problemas existentes en estas rutas, sobre todo porque a falta de pavimento se generan inconvenientes tales como, polvaredas, deterioro mecánico de los vehículos de transporte, escasa valorización de las construcciones; es decir, un bajo estándar de vida de los pobladores de la zona debido a la pavimentación tan convencional que existe en el país, resultando costoso instalar una planta de fabricación de Mezcla Asfáltica Caliente (MAC).

Una solución al problema de la presente tesis está basado en la normativa existente EG-2013/MTC-Perú; la cual presenta como alternativa para revestir el pavimento de vías de bajo tránsito un Micropavimento Asfáltico de 10 mm de espesor, compuesto por agregados finos, filler mineral, agua potable y emulsión asfáltica de tipo Quick Set (QS-Quick Set) o Cationic Set Slow (CSS-1-h).

La intensidad de cargas y nivel de solicitaciones a la que se expone el pavimento en las zonas urbanas de Lima, como en el Asentamiento Humano Lomas de Marchan, hace que la base granular absorba los esfuerzos generados del servicio, puesto que los revestimientos asfálticos a esfuerzos de tracción no pueden trabajarse, solo puede trabajarse a compresión, lo cual permite que se cumpla la función de desgaste. Por lo que, el revestir el pavimento con una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) de 4 cm ó 5 cm de espesor no se hace necesario. Esto exige usar una Planta de Asfalto Caliente para la producción de la mezcla, transportarla hacia la obra, utilizar un equipo o tren de maquinarias para la colocación, contaminar el medio ambiente con la producción y aplicación a altas temperaturas (entre 130 y 150 °C), redundando en altos costos por metro cuadrado de pavimento, lo que con los escasos recursos distritales y/o municipales disponibles se postergan la pavimentación de las calles y vías urbanas en la gran cantidad de barrios de la ciudad de Lima.

## 1.2 Trabajos Previos

La revisión de diferentes trabajos de investigación y artículos científicos sobre el tema de estudio nos permite referir antecedentes nacionales e internacionales, estos son:

- Rodrigo Uribe Olivares, “**Lechadas asfálticas y Microaglomerados en Frío**”, 28 Julio 2015, 77 págs.

En este trabajo se encuentran definiciones acerca de lechadas asfálticas y su correspondiente aplicación, sus componentes, objetivos, clasificación, sus características, funciones, diseños, así como la selección del tipo de lechada a usar y su selección de materiales. Se habla también del agregado, especificaciones de propiedades para agregados. Habla también sobre el relleno mineral o filler, los ligantes o emulsiones y sus usos, los aditivos, entre otros. Con ejemplos base, todo realizado en diapositivas (1).

- **Paper informativo publicado por el Ministerio de Obras Públicas de Colombia sobre la técnica de Microaglomerados**, definiciones, ensayos de materiales, diseño de mezclas, etc. El cual nos dice:

Teniendo en cuenta que la red vial del país en gran porcentaje se encuentra en un estado de deterioro, que con una correcta gestión y utilización de los recursos puede ser renovada, aumentando de esta manera su vida útil y ahorrando con esto en costos de reconstrucción, surge la necesidad de desarrollar una técnica de mantenimiento adecuado para cada situación, razón por la cual se realizó un estudio completo de una de las técnicas que recibe el nombre de Microaglomerado de Frío con emulsiones modificadas con polímeros cuya utilización viene en aumento debido a sus excelentes prestaciones. Es una tecnología que se irá expandiendo hasta llegar a ser de uso generalizado, teniendo una estructura de pavimento de buena calidad remanente, se puede rejuvenecer e impermeabilizar capas de rodaduras envejecidas y fisuradas.

- Lito Dávila, “**Guía para el Diseño de Mezclas Asfálticas Densas Semi-líquidas: Morteros Asfálticos (Slurry Seal) y Micro-pavimentos (Micro-Surfacing)**”, 2008, 20 págs.

Es una compilación de la variada información existente respecto al uso de los asfaltos emulsionados (emulsiones asfálticas) en la elaboración de mezclas asfálticas densas semi-líquidas como son los morteros asfálticos (Slurry Seal) y el micro-pavimento (Micro-surfacing). Es un documento referencial y ayuda para que los profesionales y usuarios establezcan sus especificaciones en sus proyectos. Contiene técnicas de conservación preventiva y correctiva de pavimentos de asfalto, definiciones acerca de emulsiones asfálticas, diferentes pruebas, tipos de ensayo, descripción sobre micro pavimentos, especificaciones técnicas, ente otros (2).

- Carlos Augusto Costa, Departamento Técnico de Quimicao - Brasil, “**Micro revestimento Asfáltico á Frio**”, 107 págs.

En esta información se detallan los métodos, ensayos y formas de cómo aplicar y controlar los Micropavimentos en el Brasil (3).

Normas relacionadas:

- **DNIT 035\_2004\_ES (MRAF)**.- Departamento Nacional de Infra-Estructura de Transportes - Brasil. Pavimentos flexíveis - Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero – Especificação del serviço .
- **DNIT 035\_2005\_ES (MRAF)**.- Departamento Nacional de Indra-Estrutura de Transportes. Pavimentos flexíveis – Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2005 (4).
- **ISSA A143-2001**.- International Slurry Surfacing Association (en español Asociación Internacional de Superficies de Lodo). Micro Surfacing (Revised 01/2001)

- **ISSA A143-2010.**- International Slurry Surfacing Association (en español Asociación Internacional de Superficies de Lodo). Micro Surfacing (Revised 01/2010)
- **ISSA TB-114 (SCHULZE BREUER & RUCK TESTING).**- International Slurry Surfacing association de EE.UU. – Schulze Brewer & Ruck Testing.
- **ISSA\_A143-2003.**- International Slurry Surfacing Association (en español Asociación Internacional de Superficies de Lodo). Micro Surfacing (Revised 01/2003)
- **ISSA-A143-2005.**- International Slurry Surfacing Association (en español Asociación Internacional de Superficies de Lodo). Micro Surfacing (Revised 01/2005) (5)
- **LAMA ASFÁLTICA - DER-PR ES-P 24-05**, especificación brasilera
- **MRAF - ET-DE-P00-022\_A.**- Marshal of the Royal Air Force EE.UU.

En el Perú, tuvo origen el empleo de las emulsiones asfálticas en Obras viales por vuelta del año 1992, en tramos de Rehabilitación de Carretera Panamericana Norte y Sur, y con el transcurrir del tiempo fue evolucionando su aplicación hasta el año 2000. Sin embargo, la mayoría de aplicaciones se limitaron a sellados con mortero asfáltico o Slurry Seal, sistemas que eran fabricados con emulsiones asfálticas catiónicas convencionales.

Universalmente, a partir de la década del 90, la tecnología de las emulsiones ha tenido una gran evolución, resultado de ello es el empleo de Emulsiones Modificadas con Polímeros para aplicación de Tratamientos Asfálticos Superficiales (TAS), Micro pavimentos Asfálticos en Frio (MPAF), Mezclas Asfálticas Emulsionadas Modificadas con Polímeros (MAEp) para bases y carpetas de rodadura, etc.

En la realidad de nuestro país, las (EAMp) se han limitado a aplicaciones de MP y en menor proporción a TAS.

### 1.3 Teorías relacionadas al tema

El presente estudio está basado en fundamentos teóricos relacionados con la Infraestructura Vial:

#### 1.3.1 Definiciones

##### **Pavimento**

Estructura de Carreteras, Aeropuertos, Calles, Caminos, etc., constituida por un sistema de varias capas de espesores finitas (que deforman, deflectan y desarrollan esfuerzos), asentadas sobre un semi-espacio considerado teóricamente elástico, homogéneo e infinito, llamado Terreno de Fundación.

Un pavimento puede ser:

- Flexible (rodadura de capa asfáltica y capas granulares estructurales)
- Semirrígido (rodadura de capa asfáltica y puede estar formado por una capa estabilizada hidráulicamente), o
- Rígido (base y rodadura de concreto hidráulico)

##### **Mezcla Asfáltica**

Es una combinación constituida por agregados pétreos (áridos) o siderúrgicos y ligante bituminoso (asfáltico), siendo que sus propiedades físicas dependen de las cantidades relativas de estos componentes. Estas mezclas forman parte de un pavimento flexible.

Tipos de Mezclas Asfálticas:

a) En función a la temperatura de fabricación, transporte y aplicación:

- *Mezclas Asfálticas en Caliente* (MAC): Combinación de áridos (mezcla de varios tamaños de áridos gruesos y finos, incluido el polvo mineral) con un ligante asfáltico (Cemento Asfáltico de Petróleo-CAP), procesada en una planta sofisticada a altas temperaturas entre 150 y 160°C. (6).

- *Mezclas Asfálticas Semi-tibias (MAST)*: Combinación de áridos (mezcla de varios tamaños de áridos gruesos y finos, incluido el polvo mineral) y ligante bituminoso (CAP), producidas a temperaturas debajo de la temperatura de vaporización del agua (100°C). (7).
- *Mezclas Asfálticas Tibias (MAT)*: Son un tipo de mezcla de los mismos componentes que las MAC, producidos típicamente a temperaturas en un rango entre 120 ° C a 140 ° C. (7)
- *Mezclas Asfálticas en Frio (MAF)*: Es un tipo de mezcla que combina áridos (mezcla de varios tamaños de áridos gruesos y finos, incluido el polvo mineral) con un ligante asfáltico en una planta o en una mezcladora portátil, a temperatura ambiente. Es decir, no se calientan los agregados ni el ligante asfáltico, se colocan y compactan a temperatura ambiente. Una mezcla de este tipo es la Mezcla Asfáltica Emulsionada Modificada con Polímeros (MAEp), materia de este estudio como alternativa para conservación vial (8).
- *Mezclas Asfálticas Micro*

### **Micropavimento Asfáltico en Caliente (MPAC)**

Es una mezcla compuesta por agregado mineral graduado (pequeños espesores de 2 a 3.0 cm), Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros, Filler y Mejorador de Adhesividad, esparcida y compactada en caliente, a temperaturas entre 150 y 160°C. (9)

### **Lechadas Asfálticas**

Mortero constituido de una mezcla de agregados finos y filler mineral, agua, algunas veces aditivos control de rotura y emulsión asfáltica convencional procesada a temperatura ambiente y aplicada en espesores milimétricos desde 3 mm hasta 8 mm. La aplicación permite como tamaño máximo de agregados hasta de 1/4" (gravilla). De acuerdo a su tamaño pueden ser:

Tipo I: Finas, N° 200 a 1/8" (espesor de 0 a 3 mm)

Tipo II: Medias, N° 200 a 1/4" (espesor de 3 a 6 mm) y

Tipo III: Gruesas, (espesor de 6 a 8 mm) (10).

### **Micropavimento Asfáltico en Frío (MPAF)**

Mezcla compuesta por agregados minerales, filler, agua, emulsión asfáltica modificada con polímeros y aditivo control de rotura (si fuese necesario), con consistencia fluida, distribuida uniformemente sobre una superficie previamente preparada, a temperatura ambiente y aplicada en espesores milimétricos desde 6 mm hasta 20 mm. Esta aplicación permite el uso de tamaño máximo de agregados hasta de 3/8". De acuerdo a su tamaño, pueden ser:

Tipo I: (espesor de 4 a 15 mm)

Tipo II: (espesor de 6 a 20 mm) y

Tipo III: (espesor de 10 a 30 mm) (11).

### **1.3.2. Marco Conceptual**

Las mezclas asfálticas para Conservación Vial (parchado de pistas), cumplen con las normas internacionales ISSA (International Slurry Seal Surfacing Association) y nacionales establecidas por las EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (12).

Afortunadamente, el avance actual tecnológico de la Ingeniería de Asfalto nos permite el uso de los ligantes asfálticos Modificados con Polímeros, los cuales, mezclados con agregados pétreos, filler mineral activo (cemento Portland o Cal Hidratada, cenizas, etc.), agua y aditivos, a temperatura ambiente, nos proporcionan mezclas asfálticas de alta durabilidad y resistencia al desgaste, que garantizan los periodos de vida útil proyectada (13).

- **Emulsiones asfálticas**

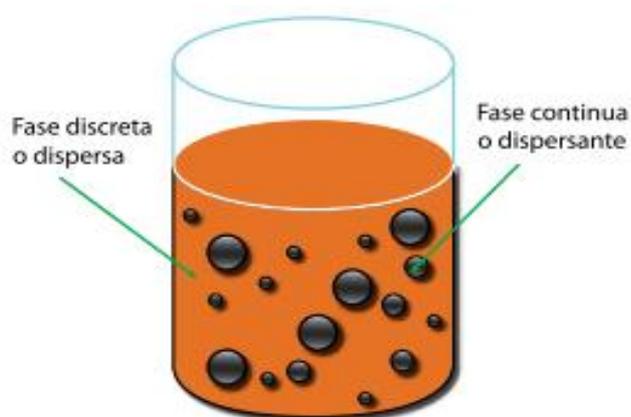
#### **Definición**

Las emulsiones asfálticas son la dispersión de pequeñas micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa. Las emulsiones típicamente contienen entre un 40% al 70 % de asfalto, son líquidos de consistencia que van desde fluidas

hasta muy viscosas. El tamaño de la partícula está en un rango desde 0.01 a 20 micrones de diámetro.

Una emulsión es una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, no miscible entre sí, como, por ejemplo, el látex natural o algunos aceites vegetales. Esta mezcla es posible gracias a la ayuda de un emulsificante, emulsionante o emulgente.

Las emulsiones son sistemas formados por dos fases: una es la fase continua y la otra la fase dispersa.



*Figura 1* Esquema de una emulsión (Fuente: Documento Técnico N° 23 Sanfandila, Qro.)

### **Breve historia**

A los comienzos del siglo XX aparecen las emulsiones asfálticas en Europa. En el año de 1905, en Nueva York (EE.UU), son aplicadas las emulsiones aniónicas para la construcción de carreteras (cuyas vías de rodadura eran únicamente de materiales pétreos), con lo que conseguían evitar el polvo, generado por el tránsito de vehículos.

Posteriormente en el año de 1914, las emulsiones aniónicas son usadas en el estado de Indiana, para trabajos de reparación de caminos. Paralelamente, en la ciudad alemana de Hamburgo, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, empleando una emulsión estabilizada la cual reacciona activamente con la arcilla muy activa como emulgente.

En Europa en el año 1925, las emulsiones aniónicas se comenzaron a emplear. Las emulsiones catiónicas es otro tipo de producto asfáltico que aparecieron en Europa (1953) y en Estados Unidos (1958). Estas emulsiones se usaron inicialmente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de imprimación y de liga. Conocidas las ventajas que ofrecían estas emulsiones, se comenzó a profundizar las investigaciones y poder encontrar una emulsión de rompimiento lento para poder compatibilizar con materiales de granulometría cerrada y obtener óptimos resultados; y así fácilmente construir carpetas o bases.

El uso de Emulsiones Asfálticas Catiónicas en el Perú, se da al inicio de la década de los años 90, realizando pruebas a nivel de laboratorio, utilizándose precisamente un molino coloidal de laboratorio de pequeña producción. Entre el año 1992 y 1995, se ejecutaron tramos experimentales y algunas aplicaciones a nivel definitivo de Slurry Bituminoso para tratamiento de fisuras y grietas, Mezclas Asfálticas Emulsionadas (MAE) para bacheos superficiales, riegos de liga, etc. en tramos importantes de carretera Panamericana Norte y Sur (Huacho – Huarmey, Puente Santa – Ovalo Industrial de Trujillo, Trujillo – Pacasmayo, Tacna – Ilo, Tacna-Camiara) y también en un tramo de la Carretera Central (Lima – Chosica). Desde el año 1995 el Ministerio de Transportes así como el sector privado, en un trabajo conjunto, incluyeron en los expedientes técnicos de Rehabilitación y Mantenimiento de la Red Vial Nacional y Departamental del Perú, habiéndose evolucionado hasta el nivel de la tecnología de las Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros. Es así, que a la fecha en el país existen 6 fabricantes de emulsiones localizados en Lima. Debido a la gran necesidad preservar y construir infraestructura vial, la tendencia es a instalar plantas que atiendan el interior de país.

### **Componentes**

Básicamente las emulsiones asfálticas están compuestas de los siguientes componentes:

### Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es el componente principal de la emulsión debido a que ésta ocupa entre un 40% a 70% del total de la misma. El correcto funcionamiento del cemento asfáltico dentro del proceso de la elaboración de la emulsión se debe a que ésta tiene que cumplir algunas particularidades de tipo físico-químicas. En la práctica se recomienda que el Cemento Asfáltico de Petróleo presente las siguientes características:

- El estado coloidal debe ser de tipo sólido y solido-gel.
- El rango porcentual de contenido de asfaltenos: 18% - 26%
- Contenido de aceites: 44% - 50%
- El porcentaje de contenido de resinas cálcicas cíclicas aromáticas es el 15% del contenido de resinas.
- El contenido de parafinas debe ser bajo
- El contenido de ácidos nafténicos debe ser alto, es decir, el índice de acidez debe ser mayor a 1.0
- El índice de penetración debe estar en el rango de -1 a +1.
- Bajo contenido de sal.

### El Agua

El agua es el principal componente al momento de determinar la consistencia de la mezcla. Está presente en tres formas:

- Como humedad contenida en los agregados
- Como agua de mezcla
- Como uno de los dos componentes que se encuentra en mayor cantidad dentro de la elaboración mezcla asfáltica.

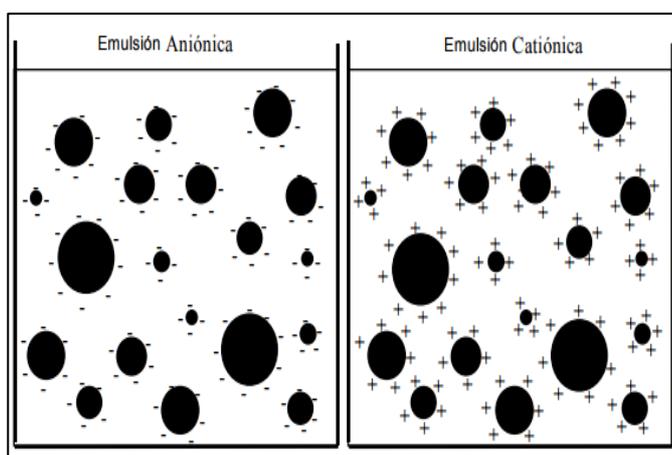
La cantidad de agua en la mezcla es determinante, por ejemplo, si la cantidad de agua es muy alta (12%), provocará una segregación ya que la mezcla se encuentra muy fluida; en cambio si la cantidad de agua es baja, la mezcla asfáltica perderá la cohesión con el pavimento existente.

El agua no se lo somete a ensayos de laboratorio, lo único que se tiene que tomar en cuenta es el control de la presencia de minerales, como calcio o magnesio ya que estas afectan sus propiedades químicas.

### El Emulsificante

Dentro de la composición de las emulsiones, el emulsificante, interviene en un porcentaje bajo, pero su función es muy importante, el emulsificante es el agente estabilizador nos permite que los glóbulos de asfalto se unan con el agua. Permite el rompimiento oportuno y cambia las tensiones superficiales de los agregados en contacto con la emulsión.

Los emulsificantes compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico (sin afinidad con el agua) y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante como se muestra en la figura a continuación.



*Figura 2: Esquema de una emulsión aniónica y de una catiónica (Fuente: Documento Técnico N° 23 Sanfandila, Qro.)*

### Emulsificantes Aniónicos

Son sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos en su parte hidrofílica, con carga eléctrica negativa; éstos tienen como fórmula general: R-COONa.

### Emulsificantes Catiónicos

Son productos de la reacción química entre ácidos inorgánicos fuertes, como el ácido clorhídrico, con aminas grasas, con carga eléctrica positiva; éstos tienen como fórmula general:  $R-NH_3Cl$ .

### Fabricación

Las emulsiones asfálticas, se fabrican en plantas que pueden ser continuas o discontinuas. La fabricación de emulsiones, consiste en hacer pasar una fase acuosa y una fase asfáltica a una determinada temperatura por un molino coloidal, y de esta manera poder lograr la dispersión del asfalto en el agua.

Una planta de emulsión está compuesta por lo siguiente:

- Silos de almacenamiento para los materiales componentes de una emulsión asfáltica.
- Un circuito de bombas y tuberías, cuya función es de trasvase, dosificación, incorporación y recirculación de los materiales que intervienen en la elaboración de las emulsiones asfálticas.
- Un sistema de calentamiento de tuberías, por las que recirculan aceite térmico, vapor de agua.
- Un sistema de fabricación de emulsión, el cual consta de homogeneizadores, difusores y molinos coloidales. La función principal de este sistema es triturar o dividir (mediante el procedimiento de desintegración mecánica) a los glóbulos de asfalto hasta tamaños microscópicos.

Los equipos que más se usan para la desintegrar mecánicamente a los glóbulos de asfalto tenemos a los molinos coloidales.

La figura N° 3, muestra el esquema de una planta para la fabricación de emulsiones asfálticas:

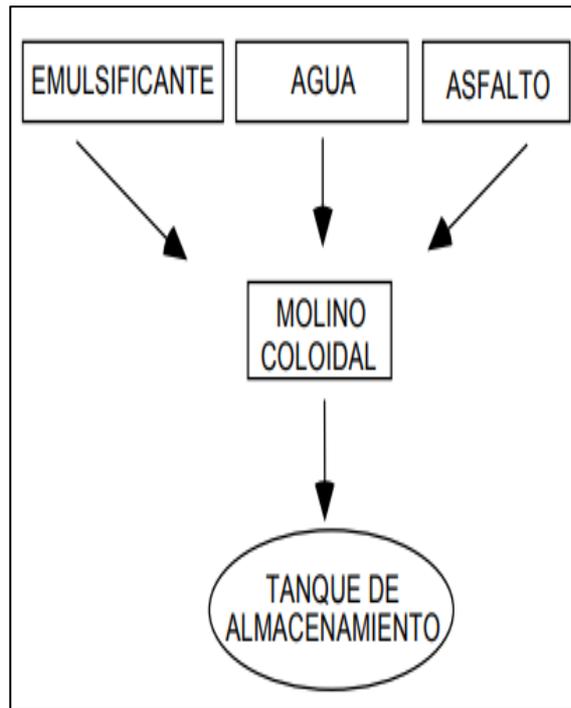


Figura 3: Esquema de una planta de fabricación de emulsiones asfálticas (Fuente: Documento Técnico N° 23 Sanfandila, Qro.)

### **Clasificación**

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al:

a) Tipo de emulsificante.

En este caso existen dos tipos, aniónicas y catiónicas:

#### **Emulsiones Aniónicas**

El agente emulsificante en este tipo de emulsiones le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, es decir, que éstos adquieren una carga negativa.

#### **Emulsiones Catiónicas**

El agente emulsificante en este tipo de emulsiones le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

b) Tipo de ruptura

Se pueden clasificar de acuerdo a su estabilidad, éstas pueden ser de:

### Ruptura Rápida

Estas se utilizan para Tratamientos Superficiales, como riegos de liga, impregnaciones, Tratamientos Simples, Tratamientos Dobles, Fog Seal, etc. Su nomenclatura según la norma ASTM D2397 se designa como CRS -1 o CRS-2, cuyas siglas en inglés significan en inglés – Cationic Rapid Setting (en español Catiónica de Ruptura Rápida).

### Ruptura Media

Estas normalmente se usan para la producción de mezclas asfálticas en frío semi-abiertas o abiertas, procesadas en plantas o manualmente, cuyas aplicaciones sirven para capas de base, carpetas de rodadura, bacheos, etc. Su nomenclatura según la norma ASTM D2397 se designa como CMS -1 o CMS-2, cuyas siglas en inglés significan en inglés – Cationic Medium Setting (en español Catiónica de Ruptura Media).

### Ruptura Lenta

Las emulsiones de este tipo se usan para carpetas de mezcla en frío densa o cerrada, procesadas en planta o manualmente. También pueden ser utilizadas en estabilizaciones de capas de pavimentos y en impregnaciones de bases granulares. Asimismo las emulsiones de tipo super-lenta, pueden ser utilizadas para fabricación de morteros asfálticos como lechadas asfálticas o Micropavimentos.

Su nomenclatura según la norma ASTM D2397 se designa como CSS -1 o CSS-1h, cuyas siglas en inglés significan en inglés – Cationic Slow Setting (en español Catiónica de Ruptura Lenta).

### Nomenclatura de una emulsión

La siguiente figura detalla la forma en que se designa a una emulsión.

CSS: Cationic Slow Setting

h: Hard

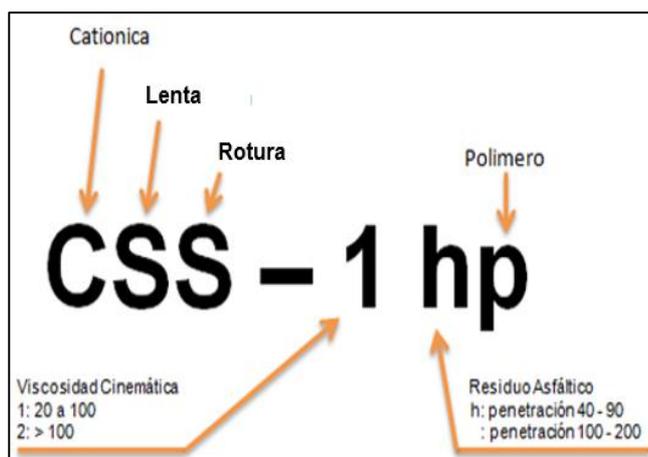


Figura 4: Esquema de la nomenclatura según la norma ASTM D2397 (Fuente: Propia)

Según el contenido de asfalto residual en la emulsión, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se pueden clasificar como se muestra a continuación:

Clasificación	Contenido de Asfalto (% en masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
ARS-55	55	Rápido	Aniónica
ARS-60	60	Rápido	Aniónica
AMS-60	60	Medio	Aniónica
AMS-65	65	Medio	Aniónica
ASS-55	55	Lento	Aniónica
ASS-60	60	Lento	Aniónica
AIS-60	60	Para Impregnación	Aniónica
CRS-60	60	Rápido	Catiónica
CRS-65	65	Rápido	Catiónica
CRS-70	70	Rápido	Catiónica
CMS-65	65	Medio	Catiónica
CSS-65	65	Lento	Catiónica
CIS-60	60	Para Impregnación	Catiónica

Tabla 1: Clasificación de las emulsiones asfálticas (Fuente: Emulsiones Asfálticas Ing. Gustavo Rivera)

## Especificaciones Técnicas

Las Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros, que es el tipo de ligante utilizado en la mezcla de Micropavimento, están reguladas por la Norma Peruana NTP 321.141, como se muestra a continuación:

Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Cationicas con Polímero											
Tipo	Norma	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta	
Grado		CRS-1P		CRS-2P		CMS-1P		CMS-2P		CSS-1P	
		mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
<b>Prueba sobre Emulsiones</b>											
-Viscosidad Saybolt Furol a (25°C),s	MTC E - 403									20	100
-Viscosidad Saybolt Furol a (50°C),s		20		20		20		20			
-Estabilidad de Almacenamiento, 24h%	MTC E - 404		1		1		1		1		1
Carga de partícula	MTC E - 407	Positivo									
Residuo por Evaporación, %	MTC E- 411	60		65		59		57		60	
Sedimentación a los 7 días, %	MTC E - 404		5		5		5		5		5
Prueba del Tamiz, %	MTC E- 405		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1
Mezcla con cemento, %	MTC E- 410										2
<b>Revestimiento y Resistencia al agua:</b>											
-Revestimiento, agregado seco	MTC E- 409					Bueno		Bueno			
-Revestimiento, agregado seco después del rociado						Aceptable		Aceptable			
-Revestimiento, agregado húmedo						Aceptable		Aceptable			
-Revestimiento, agregado húmedo después del rociado						Aceptable		Aceptable			
<b>Pruebas sobre el Residuo de Evaporación</b>											
-Penetración, 25°C, 100g, 5s	MTC E- 411										
	MTC E- 304	101 (a) 50 (a)	201 (a) 90 (a)	103 (a) 50 (a)	201 (a) 90 (a)	100	220	40	90	101 50 (a)	151 90 (a)
-Punto de ablandamiento (Ay B9),°C	MTC E- 307	45		45		40		40		45	
-Ductilidad, 5° C, 5 cm/min, cm	MTC E- 306	≥ 10									
-Recuperación elástica, 25° C, %	ASTM D 6084	≥ 30									
-Recuperación elástica, 25° C, por torsión, %	MTC E- 320	≥ 30									

**Nota: (a) En función a las condiciones climáticas del proyecto se definirá uno de los grados indicados(50-90 ó 100-200 ó 100-150).**

Tabla 2: Especificaciones de las emulsiones asfálticas (Fuente: NTP 321.141 y ASSHTO T316)

- **Determinación de la Viscosidad Saybolt Furol (Norma ASTM D-244).**

Este ensayo permite determinar la viscosidad Saybolt Furol de las emulsiones asfálticas a las temperaturas de 25 y 50 °C, es decir, que permite conocer la consistencia de la emulsión en el momento en que esta es aplicada, previendo su comportamiento en una aplicación determinada.

- **Ensayo de Sedimentación (7 días) (Norma ASTM D-6930)**

El objeto de este ensayo es obtener un índice de la tendencia a sedimentarse que tienen los glóbulos de asfalto que componen la emulsión cuando está en reposo almacenada sin ningún tipo de movimiento o recirculación.

Cuando se presentan valores altos de sedimentación, es muy posible que se trate de una simple floculación, la misma que mediante agitación vuelve a su estado natural, o bien que esta floculación vaya seguida de una coalescencia y por lo tanto, el proceso es irreversible.

- **Determinación de la Demulsibilidad (Norma ASTM D-244).**

Este ensayo sirve para evaluar la estabilidad de la emulsión asfáltica de rompimiento rápido en presencia de los agregados, es decir, determina la cantidad de material bituminoso que se separa de la emulsión en las condiciones del ensayo.

- **Mezcla con cemento (Norma ASTM D-244)**

Este ensayo solo se aplica a las emulsiones de rotura lenta que va a mezclar con materiales con árido fino (pasa por el tamiz N° 200).

El valor que se obtiene de este ensayo no es nada más que la medida del grado de la estabilidad de una emulsión de rompimiento lento al contacto con los agregados, con el fin de garantizar que no se vaya a presentar un rompimiento prematuro durante el proceso de mezclado.

- **Tamizado por la Malla N° 20 (0.84mm) (Norma ASTM D-244)**

Este ensayo permite determinar la cantidad de producto bituminoso, sin emulsionar, que hay en el material. Tanto los grumos como la película que se forma en la parte superior aparecen debido a la rotura de la emulsión, mala fabricación, contaminaciones, etc.

La presencia de grumos en la emulsión puede obstruir las bombas o las boquillas de los distribuidores durante su aplicación y de igual manera afectar la estabilidad durante su almacenamiento.

- **Ensayo de Destilación de la emulsión (Norma ASTM D-2449)**

El ensayo de destilación determina las proporciones de agua y de residuo asfáltico contenidas en la emulsión asfáltica; el residuo de la destilación se utiliza para efectuar las pruebas de penetración, ductilidad, solubilidad, punto de ablandamiento y flotación.

- **Prueba de Penetración del residuo asfáltico (Norma ASTM D5 - 05)**

El ensayo de penetración del residuo asfáltico de la emulsión determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Los valores más altos de penetración indican una consistencia más suave.

- **Ensayo para mezclas de MPAF**

Con los materiales que formaran parte del Micropavimento Asfáltico en Frio, ya ensayados y seleccionados, se formula el análisis y diseño de la mezcla, en esta etapa en el laboratorio se realizan tanteos empíricos, lo que vale decir prepara varias muestras de prueba con diferentes contenidos de emulsión asfáltica y de agua, para determinar los porcentajes óptimos del diseño, logrando buen comportamiento de mezclado, rompimiento y curado.

Los tanteos de mezclado se hacen con el objetivo de determinar si la emulsión asfáltica es compatible con los agregados, es decir, si existe una buena adhesión entre ellos; y de la misma manera determinar el rango de concentración de agua, para poder obtener mezclas homogéneas.

Las pruebas para el diseño del MPAF se encuentran en el boletín técnico (TB) de la ISSA (International Slurry Surfacing Association o Asociación Internacional de Recubrimientos con Morteros).

- **Ensayo de mezclado manual (Norma ISSA TB 113)**

Esta prueba es considerada como, una “previa” al diseño del micropavimento asfáltico, este ensayo en pequeñas muestras con diferentes contenidos de emulsión asfáltica y de agua, nos permite tener una idea clara del contenido ideal para alcanzar una buena compatibilidad de agregado-bitumen, y nos determina el tiempo mínimo que debe ser mezclado las muestras antes de su rotura, y tener en cuenta las condiciones del clima en la zona de trabajo para escoger la muestra con los porcentajes más adecuados para el diseño.

- **Ensayo de cohesión (Norma ISSA TB 139)**

El objetivo de este ensayo, es mostrar la evolución de la consistencia de la mezcla en función al tiempo de curado, nos permite determinar las características de rotura de la mezcla y la cohesión entre el agregado y la emulsión asfáltica, de esta manera podemos precisar el tiempo de liberación al tránsito vehicular dependiendo de las condiciones climáticas de la zona de trabajo.

- **Prueba de Abrasión por Vía húmeda - WTAT (Norma ISSA TB 100)**

Este ensayo nos ayuda a determinar la resistencia al desgaste por abrasión de un micropavimento asfáltico, nos ayuda a simular una superficie de pavimento saturado por acción del agua, con este ensayo se simula las condiciones de tránsito y frenado de un vehículo sobre una superficie de pavimento mojado.

Con esta prueba podemos definir la cantidad mínima de emulsión asfáltica, que nos garantice la suficiente cohesión para poder resistir la acción abrasiva del tráfico vehicular.

- **Ensayo de la Rueda Cargada - LWT (Norma ISSA TB 109)**

Esta prueba nos ayuda a conocer el contenido máximo de emulsión asfáltica en los micropavimentos, la prueba consiste en determinar la cantidad de arena adherida a las muestra del ensayo esto gracias a la simulación de cargas pesadas bajo la acción de una rueda de goma y medir los desplazamientos laterales por el mismo efecto de desplazamiento (Micropavimentos).

- **Procedimiento constructivo y consideraciones de colocación**

**Procedimiento constructivo**

El equipo para aplicar el mortero asfáltico debe ser del tipo continuo. El equipamiento debe garantizar la forma de dosificar con precisión la cantidad de materiales que se van a requerir en la mezcla de MPAF. Los dispositivos del equipamiento deben facilitar una alimentación continua y uniforme de los materiales durante el mezclado. La maquinaria y todo el equipo complementario que se emplea en la aplicación, deberán estar en condiciones óptimas de uso.

El equipamiento que debería tener está indicado y señalado por las especificaciones MOP-001-F 2000 sección 405-7.03 y la ISSA A105, del que tendrá que disponer el constructor para el esparcido y colocación del micropavimento; es una Planta Móvil montada sobre el chasis de un camión o sobre una unidad autopropulsada, tal y como se muestra en la figura N° 5:

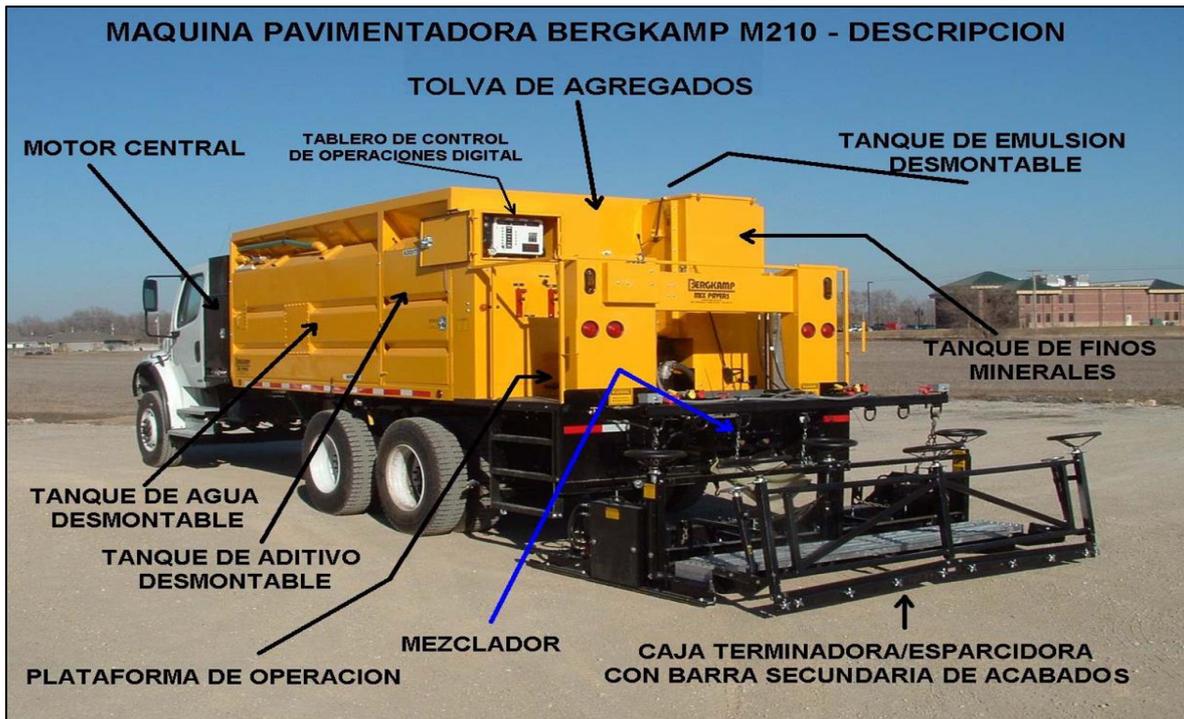


Figura 5: Camión-Planta para aplicación de MPAF (Fuente: Bergkamp Inc.)

La Planta - Móvil estará equipada con sistemas, tal y como se menciona a continuación:

### Sistema de Agregados

La tolva que almacena los agregados, la faja transportadora tipo continuo montada sobre rodillos para alimentar de agregados al mezclador, con vibradores con frecuencias programables, compuerta de apertura y cierre variable con un dispositivo digital para su fácil calibración. A cualquier velocidad dada de la banda, la rata a la cual el agregado es vertido en el mezclador, puede ser controlada variando la posición vertical de la compuerta graduada situada directamente encima del rodillo.

### Sistema de Emulsión

Compuesto por tanque de almacenamiento con indicador de nivel, bomba de desplazamiento positivo, encamisada térmicamente para alimentación y recirculación.

### Sistema de Agua

Compuesto por tanque para almacenamiento con indicador de nivel, bomba centrífuga, barra rociadora de agua, tuberías de conexión, medidor de flujo y válvula solenoide electroneumática de apertura y cierre. El agua es suministrada a presión tanto al mezclador (pug-mill), como a la barra rociadora para humedecer la vía y a la manguera manual, que es usada para limpiar el mezclador y la caja de esparcimiento.

### Sistema Alimentador del Relleno Mineral

Compuesto por tolva almacenadora, alimentador tipo gusano sin fin de acción reversible y velocidad variable.

### Sistema de Aditivo

Compuesto por tanque de almacenamiento anti-corrosivo, bomba alimentadora de desplazamiento positivo con velocidad variable y medidor de flujo.

### Sistema de Mezclado

Equipado con mezclador de ejes gemelos con paletas de giro reversible (tipo "pug-mill"). El espacio comprendido entre las paletas y la cámara de mezclado es función del tamaño máximo del agregado del MPAF, que en nuestro caso es del Tipo M-III (ISSA-III). La figura N° 6 muestra los detalles del sistema.

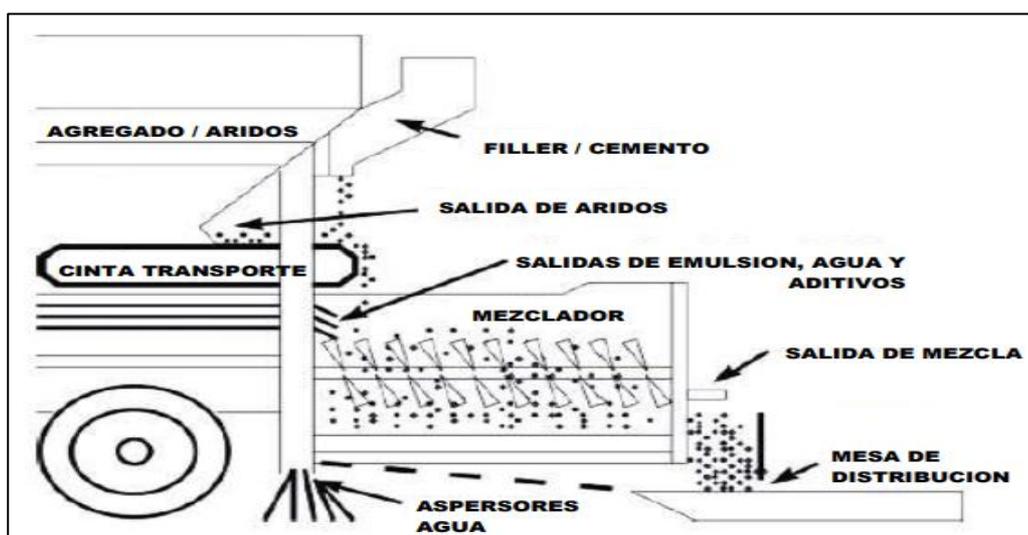


Figura 6: Esquema de aplicación de Micropavimento (Fuente: ISSA 2010G)

La característica de esta caja esparcidora es de expansión hidráulica inclusive en movimiento, equipada con gusanos sin fin de control hidráulico reversible y velocidad variable para esparcir la mezcla, controles de espesor de mezcla, barra secundaria con dispositivos de neopreno o uretano para el terminado final de la aplicación. El objetivo de esta barra es ajustar el terminado de la superficie de rodadura, con las características de rugosidad requeridas.

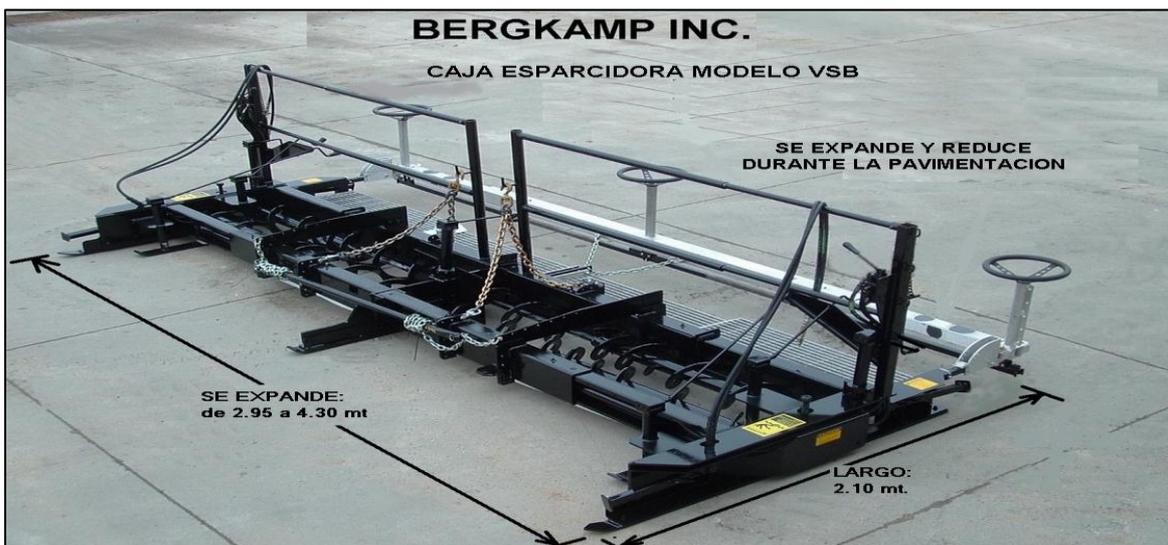


Figura 7: Caja esparcidora (Fuente: Bergkamp Inc.)

#### Dispositivos de Dosificación

EL equipo estará equipado con controles individuales de alimentación en volumen o peso, para la dosificación exacta de todos los materiales que se suministren al mezclador. Las cantidades de emulsión, agregados y relleno mineral son fijadas antes de la aplicación, solamente el agua y el aditivo especificados en el diseño, deberán de ser controlados durante el tendido en obra en función de las condiciones climáticas.

#### Barredora Mecánica

La barredora mecánica se utiliza para el barrido de la vía como método de limpieza con la finalidad de retirar el polvo en mayor cantidad y materiales perjudiciales a la mezcla de MPAF.



Figura 8: Diferentes tipos de barredoras mecánicas para limpieza de la vía  
(Fuente: Manual de equipos Caterpillar)

### Cargador Frontal

El Cargador Frontal es utilizado para abastecer de agregado al área de almacenamiento de la máquina pavimentadora, desde el banco de materiales y en algunos casos ayuda a trasladar a cortas distancias la caja esparcidora, sin causarle ningún daño.

En caso de no contar con la disponibilidad de esta máquina se la puede remplazar por una retroexcavadora cargadora de llanta.



Figura 9: Cargador Frontal (Fuente: Manual de equipos Caterpillar)

### Equipo Auxiliar

Se debe contar con el equipo complementario adecuado para la limpieza del pavimento y todo lo necesario para efectuar el trabajo.

Durante la ejecución se necesita tanques o depósitos para agua y emulsión, vehículo de apoyo (transporte del personal, señalización etc.).

También se utilizan herramientas manuales, tales como: palas, escobas, carretillas, azadas. Se debe disponer del equipo necesario para la correcta señalización en el momento de extendido y para proteger el área ejecutada durante el curado de la emulsión.

### **Consideraciones de aplicación**

Concluido el diseño de micropavimento, se procede con la aplicación de la mezcla. El tener un equipo adecuado y personal entrenado es muy importante y nos proporciona un buen desempeño en la obra, debido a que se abaratan costos, se evitan fallas y no hay desperdicios ni pérdidas de tiempo.

Para mejor desenvolvimiento de los trabajos, hay que considerar todos los factores externos del lugar donde se aplicara el Micropavimento, verificando el estado de la superficie que va a recibir el tratamiento, si esta es rugosa o lisa, se encuentra en topografía llana o elevada, curva o recta, y por supuesto si tiene condiciones de limpieza y nivelación. A continuación las figuras N° 10, 11 y 12, ilustran el proceso de colocación y liberación al tránsito peatonal y vehicular del MPAF:



Figura 10: Compactación de la capa de base granular (Fuente: Elaboración propia)



Figura 11: Colocación del MPAF (Fuente: Elaboración propia)



Figura 12: Vía liberada al tránsito peatonal y vehicular (Fuente: Elaboración propia)

### Recomendaciones

Cuando se va aplicar un Micropavimento en una vía, tenemos que tener en cuenta algunas recomendaciones:

#### Clima

La Emulsión Asfáltica Modificada con Polímeros (EAMP) empleada en la aplicación que se encuentra depositada en los tanques ya sea del almacén o de la planta-móvil, debe ser agitada suavemente antes de usarse con el fin de asegurar la consistencia del polímero, la temperatura y el residuo asfáltico.

La temperatura y humedad ambiente en la zona de obra juegan un papel importante en las fases de rotura y curado del MPAF, debido a que la cinética de la reacción y evaporación del agua son variables.

Por ejemplo en épocas calurosas, la rotura y el curado se aceleran debido a que el agua se evapora rápidamente. En estos casos, se recomienda regular la rotura y curado de la emulsión utilizando aditivos control de rotura. No obstante, en la práctica ya con el producto en cancha, se puede optar por el recurso de

almacenar la emulsión por un periodo que ayude a disminuir la temperatura a valores ambientales aceptables, antes de ser usada.

En caso de la aplicación realizarse en épocas de bajas temperaturas sucede todo lo contrario, es decir, se retarda el tiempo de rotura y el de curado de la emulsión, e incluso en climas y altitudes como las de Antamina, un recurso para equilibrar las bajas temperaturas del ligante es calentar el líquido a temperatura máxima de 70 °C (nunca exceder para evitar rotura intrínseca de la emulsión). Con este procedimiento se equilibra la temperatura ambiental y se facilita la circulación del ligante a través de la bomba, tuberías, dispersores, llaves, codos, pug-mill y todos los implementos de la planta-móvil.

En general este tipo de tratamientos no deben aplicarse a temperaturas por debajo de 10 °C y menos a temperaturas de congelación; de igual manera no es recomendable cuando las condiciones climatológicas prolonguen el tiempo de curado del MPAF o exista riesgo de lluvias.

## **1.4. Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema general**

¿Es la micropavimentación, la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima?

### **1.4.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo se resuelven frecuentemente las pavimentaciones de vías urbanas de bajo tránsito, en el Perú?
- ¿Con el micropavimento, se disminuye el costo por metro cuadrado de pavimento?
- ¿La pavimentación convencional genera dificultad en la construcción e impacto al medio ambiente en los asfaltados rurales de bajo tránsito?

## 1.5 Justificación del estudio

La filosofía de un proyecto de ingeniería es que, a través de la investigación, se propongan alternativas que permitan adoptar cambios, haciendo uso de los recursos que la naturaleza nos brinda, trayendo como resultados beneficios a la sociedad.

La cultura de pavimentación en nuestra realidad pasa por construir un pavimento convencional revestido con una carpeta asfáltica en caliente de 5 cm de espesor, práctica que por la sofisticación que significa instalar una planta de fabricación de MAC (Mezcla Asfáltica en Caliente) a distancias considerables de zonas residenciales y lo que involucra su entorno, resulta costosa, dificulta su aplicación, además de impactar considerablemente el medio ambiente.

Después de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada entre el 3 y el 14 de junio de 1992 - ECO 92 en Rio de Janeiro-Brasil, la preocupación por la preservación del medio ambiente es aún mayor, de manera que, en adelante el mundo entero, a través de diversos proyectos de investigación viene tomando medidas firmes de protección al ecosistema. El empleo de Mezclas Asfálticas en Frio significa una menor inversión en la construcción de pavimentos flexibles, economía en el consumo de energía eléctrica, así como una reducción en la generación de gases tóxicos y polvo. La forma de producir y aplicar es más versátil y permite utilizar una gran variedad de agregados y tipos de emulsiones, por lo que pueden ser aplicadas en condiciones ambientales diversas, en general no inferiores a los 5°C. (14)

Debido a las contingencias ambientales y de ahorro de energía, los Cut Backs o asfaltos recortados tienden a desaparecer en el mundo entero, y ser sustituidos por emulsiones asfálticas que presentan mayores ventajas técnico-económicas: no requieren calentamiento en o para su almacenamiento, transporte y aplicación. Se utilizan en condiciones climatológicas más desfavorables, como por ejemplo con lluvias ligeras, y se manejan e general a temperatura ambiente, debido a que son dispersiones de asfalto en agua. (15)

La puesta en obra de estas mezclas ofrece mayor facilidad y ventajas, ya que podrían ser almacenadas por algunos días o aplicadas inmediatamente sin perder sus características de trabajabilidad, dependiendo del tipo de emulsificante que se utilice en la fabricación de la emulsión, la cual podría ser de aniónica o catiónica. En el caso del Perú por el tipo de agregados (generalmente carga eléctrica negativa), se utilizan las emulsiones catiónicas. Sin embargo, en la fabricación de las MAC no puede caer la temperatura, porque perjudica su aplicación y colocación.

El empleo de Micropavimento Asfáltico en frío (MPAF) como revestimiento de pavimentos de vías urbanas de bajo tránsito, es una solución técnica-económica y ecológica que atiende las necesidades de ejecutar mayor número de obras con menores presupuestos, además de mejorar el confort y seguridad e impacto social al usuario.

Una micro-mezcla en frío con emulsión asfáltica (MPAF), presenta ventajas en comparación con las mezclas tradicionales en caliente (MAC), entre las que podemos referir:

- Primero, porque el ligante se adapta a los agregados pétreos, es decir, el fabricante de la emulsión prepara un ligante adrede en función de la composición petrológica del agregado,
- Segundo, porque se pueden mezclar áridos húmedos con el ligante emulsionado,
- Tercero, se pueden fabricar in situ, para una aplicación en cualquier localidad, utilizando una planta portátil y móvil (camión planta), o un mezclador tipo trompo o de tolva de 9 p<sup>3</sup> o 7 p<sup>3</sup>, según la necesidad del volumen a ser colocado,
- Cuarto, pueden ser aplicados en espesores milimétricos de 6 a 20 mm, y
- Quinto, Son aplicaciones prácticas, versátiles y económicas como alternativa para pavimentar vías urbanas de bajo tránsito.

Esto, debido a la imperiosa necesidad de economizar recursos naturales, y hacer mayor cantidad de obras de conservación vial con menos inversión, que

garanticen larga vida útil; es decir, urge aplicar sistemas técnicamente más rentables, durables para solicitudes y periodos de vida útil determinados, así como también amigables con el medio ambiente.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

La micropavimentación es la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

- Las pavimentaciones de vías urbanas de bajo tránsito en el Perú se resuelven mejor con el uso de la micropavimentación
- Gracias al micropavimento, los costos por metro cuadrado de pavimentación disminuyen
- La micropavimentación es menos dificultosa de usar que la pavimentación que es más convencional pero a la vez más dificultosa en la construcción e impacto al medio ambiente en los asfaltados rurales de bajo tránsito

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 General**

Determinar si la micropavimentación es la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima

### **1.7.2 Específicos**

- Analizar las soluciones existentes de pavimentaciones de vías urbanas de bajo tránsito, en el Perú
- Determinar si el micropavimento disminuye el costo por metro cuadrado de pavimento
- Determinar el grado de dificultad en la construcción e impacto al medio ambiente en los asfaltados rurales de bajo tránsito que tiene la pavimentación convencional con respecto a la micropavimentación.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Diseño de investigación

“El diseño de esta investigación alude al proceso de recolección de datos que permitirá al investigador lograr la validez interna de la investigación, es decir, generara un alto grado de confianza en las conclusiones generadas, conclusiones que van en consonancia con los objetivos establecidos”. Ref.: Rincón (2000), Capítulo I: Tipos y Niveles de Investigación (16).

#### 2.1.1 Método:

Se hará uso de la investigación científica, que mediante el procedimiento consiste que en una primera etapa a través de ensayos en laboratorio de muestras recolectadas en campo.

#### 2.1.2 Tipo:

En razón al objetivo de este estudio, la investigación es aplicada, o sea se trata de un diseño experimental (práctica o empírica), es decir busca el conocer los resultados de los ensayos practicados en laboratorio con las muestras de campo, para hacer comparaciones con el sistema convencional, formular una partida de especificaciones técnicas para pavimentar vías urbanas de bajo tránsito, de manera que se cuente con una alternativa válida y eficiente para modificar los esquemas tradicionales . (17)

### 2.2 Variables, Operacionalización

#### 2.2.1 Variables

a) Independiente

- Micropavimento

b) Dependiente:

- Alternativa técnico - económica

## 2.2.2 Operacionalización

Las variables se operacionalizan a través de la metodología de investigación empleada, los indicadores y sus medidas.

Variables	Definición	Indicadores	Dimensiones
V. Independiente:  Micropavimento	Es una mezcla de emulsión asfáltica de rotura controlada modificada con polímeros, agregado 100% triturado, minerales finos, agua y aditivos que, en proporciones apropiadas y debidamente aplicados, constituyen una capa de rodadura uniforme e impermeable que garantiza la conservación de cualquier tipo de vía de tránsito vehicular. Entre sus características principales podemos mencionar que suministra la resistencia necesaria a las fuerzas abrasivas del tránsito vehicula	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayos</li> <li>- Análisis de muestras</li> <li>- Análisis granulométrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aprobados</li> <li>- Desaprobados</li> <li>- Alta calidad</li> <li>- Calidad promedio</li> <li>- Baja calidad</li> </ul>
V. Dependiente:  Alternativa técnico - económica	Es la fusión de la alternativa técnica con la alternativa económica del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo por m<sup>2</sup> del pavimento de una vía urbana de bajo tránsito con Carpeta Asfáltica en Caliente de 5 cm de espesor</li> <li>- Costo por m<sup>2</sup> de pavimento de una cancha deportiva con MPA.</li> <li>- Plazo de ejecución del pavimento de un pavimento con MAC de 5 cm de espesor.</li> <li>- Plazo de ejecución de un pavimento con MPA de 15 mm de espesor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo alto</li> <li>- Costo bajo</li> <li>- Tiempo corto</li> <li>- Tiempo promedio</li> <li>- Tiempo largo</li> </ul>

## **2.3 Población y muestra**

### **2.3.1 Población**

Asentamiento Humano Lomas de Marchan – Pucusana – Lima, que cuenta con 3200 pobladores y una extensión de 127,026.23 m<sup>2</sup>, ubicado a la altura del Km 58 de la Panamericana Sur en Pucusana – Lima.

### **2.3.2 Muestra**

Calle Independencia, del Asentamiento Humano Lomas de Marchan – Pucusana – Lima, con una extensión de 5040 m<sup>2</sup>

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Para alcanzar los objetivos específicos del estudio se procederá a emplear Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Las técnicas a ser utilizadas serán las siguientes:

Análisis del contenido

- Recolección de datos Llevar un control de datos
- Ordenar las etapas de la investigación

Los formatos para registro del estudio son:

- Formatos para registrar las características geotécnicas y físicas de los agregados
- Formatos para diseño de mezclas
- Formatos para registro fotográfico

Ensayos

- Ensayos geotécnicos del suelo sub-rasante del pavimento
- Ensayos geotécnicos de los materiales componentes del MPAF
- Ensayos de Diseño de Mezclas para el MPAF

## 2.5 Métodos de análisis de datos

A efectos de inferir una conclusión para oficializar el uso de esta alternativa de pavimentación en las vías urbanas de bajo tránsito del distrito de Lomas de Marchan/Pucusana-Lima, se diseñará el paquete estructural del pavimento empleado un método de diseño Internacional (método Australiano del NAASRA - National Association of Australian State Road Authorities), así como también se formulará el MPAF en laboratorio, a través de ensayos de cada uno de los materiales usados en el diseño de mezcla que garanticen el desempeño del pavimento en vida de servicio (18). En tal sentido, se analizará estadísticamente la hipótesis:

Análisis Descriptivos a la hipótesis: En razón a la escala de las variables del estudio (variable cualitativa ordinal), se procederá a emplear valores estadísticos (medias, desvío estándar, valores característicos, etc.) producto de la cantidad de ensayos a ser realizados en laboratorio, lo cual respaldará probabilísticamente los resultados finales.

Análisis ligados a la hipótesis: La confirmación de la hipótesis se fundamentará en la prueba estadística del coeficiente de correlación de Pearson, o sea del coeficiente de determinación  $R^2$ , por corresponder a variables cualitativas ordinales o casi cuantitativas.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Diseño estructural del pavimento propuesto

##### 3.1.1 Parámetros del Diseño estructural

a) Capacidad de Soporte de la subrasante

CBR = 10.00 %

b) Tránsito

Frecuencia: 100 vehículos por día.

Tipo de vehículos circulantes: Ligeros (automóviles y camionetas)

Nrep = 50.000 EE = 5.0E + 04 (para 5 años de vida útil)

##### 3.1.2 Metodología de Diseño Estructural

Se ha empleado el método Australiano del NAASRA - National Association of Australian State Road Authorities (actualmente conocido como AUSTROADS), el cual sirve para dimensionar pavimentos de caminos con bajo volumen de tránsito y relaciona el Valor de Soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado de base, expresada en número "N" (Número de Ejes Equivalentes para el carril de diseño).

La ecuación para poder encontrar el espesor requerido según este método es la siguiente:

$$e = (219 - 211 * (\log_{10} \text{CBR}) + 58 * (\log_{10} \text{CBR})^2) * \log_{10} * (\text{Nrep} / 120)$$

Dónde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor de la Capacidad de Soporte de la sub-rasante

Nrep = Número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el carril de diseño

##### Clasificación de la sub-rasante

El método considera que la sub-rasante es la capa superficial, de terreno natural. Para construcción de caminos se analizará hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20 m. Su Capacidad de Soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de

construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima. Se identificarán cinco categorías de sub-rasante:

- S0:** SUBRASANTE MUY POBRE, CBR < 3%
- S1:** SUBRASANTE POBRE, CBR = 3% - 5%
- S2:** SUBRASANTE REGULAR CBR = 6 - 10%
- S3:** SUBRASANTE BUENA, CBR = 11 - 19%
- S4:** SUBRASANTE MUY BUENA, CBR > 20%

En nuestro caso, la sub-rasante clasifica como tipo **S2**. A continuación se presenta el gráfico y la determinación del espesor granular de la base del pavimento:

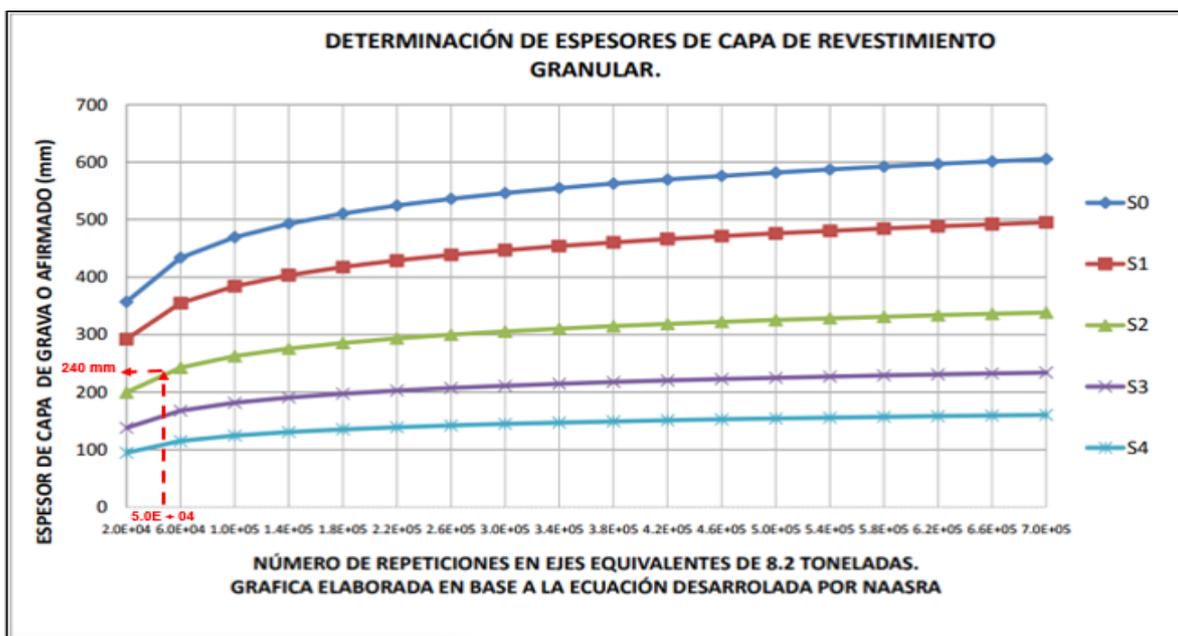


Figura 13: Espesores de capa de revestimiento granular (Fuente: Manual de carreteras de bajo volumen de tránsito).

Según el gráfico anterior, el espesor de la base de afirmado del pavimento es de 240 mm. Para efectos prácticos se redondea a 250 mm = 25 cm.

**e = 25 cm**

Finalmente, la sección estructural del pavimento queda definida como sigue a continuación en la figura N° 14:



Figura 14: Sección del pavimento (Fuente: elaboración propia)

### 3.2 Diseño del revestimiento con Micropavimento Asfáltico en Frío (MPAF)

La metodología de diseño de Micropavimentos ha sido desarrollada por la ISSA (International Slurry Surfacing Association), que define al Micropavimento como un mortero asfáltico de calidad superior a la Lechada Asfáltica o Slurry Seal. Esto debido a que el agregado fino de la mezcla debe proceder de chancado, ser de mejor calidad que un agregado fino zarandeado, el ligante asfáltico ser Modificado con Polímeros y utilizar aditivos para la liberación al tránsito en períodos cortos.

#### 3.2.1 Criterio para elegir el espesor del revestimiento con MPAF

Se toma como referencia las estadísticas internacionales de desgaste de MPA en vías de alto tránsito o autopistas, 1 mm de espesor por año. En nuestro caso, con criterio conservador para un periodo de vida útil de 5 años, se ha considerado un espesor de 10 mm para el revestimiento del pavimento.

#### 3.2.2 Agregados

Los agregados constituyen entre el 80 y 90 % de la mezcla de un Micropavimento, los que deben proceder del 100% de trituración, limpio, duro y libre de materiales que pudieran afectar la adherencia con el ligante asfáltico (emulsión asfáltica).

- **Granulometrías y usos para MPAF**

Este ensayo determina la distribución del tamaño de las partículas del agregado separado por mallas estandarizadas.

Procedimiento:

- A partir del material traído de cantera se obtiene una muestra representativa de la arena chancada y se seca en el horno.
- El material seleccionado por cuarteado se emplea para realizar la granulometría vertiendo el agregado a través de los tamices, dispuestos sucesivamente de mayor a menor, colocando al final el fondo.
- Se recupera el material retenido en cada tamiz asegurándonos manualmente de que las partículas hayan sido retenidas en el tamiz correspondiente.
- Se procede a pesar el material retenido en cada tamiz, pudiendo hacerse en forma individual o en forma acumulada.

Resultados:

La mezcla de agregados cumple con el tipo de graduación tipo III de la ISSA, Especificada para Micropavimentos.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO  
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIÓN		OBSERVACIONES
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	TIPO III		
3/8"	9.500				100.0	100		
Nº 4	4.750	305.60	15.9	15.9	84.1	70	90	
Nº 8	2.360	407.20	21.2	37.1	62.9	45	70	FORMULA DE TRABAJO
Nº 16	1.180	369.50	19.2	56.3	43.7	28	50	DISEÑO : Mortero Asfáltico TIPO III
Nº 30	0.600	234.10	12.2	68.5	31.5	19	34	PVS : : 1664 kg/m <sup>3</sup>
Nº 50	0.300	180.20	9.4	77.9	22.1	12	25	ARENA CHANC. : 1664Kg/m <sup>3</sup>
Nº 100	0.150	124.20	6.5	84.3	15.7	7	18	
Nº 200	0.075	90.00	4.7	89.0	11.0	5	11	
< Nº 200	FONDO	211.40	11.0	100.0				

Tabla 3: Resultados granulometría de la arena chancada cantera "Crushing"

A continuación, se muestra en la tabla Nº 4, los usos granulométricos especificados para las mezclas de MPAF, según las especificaciones EG-2013 del MTC/Perú:

**Granulometría de los agregados pétreos para micropavimentos  
en frío**

Tamices		Bandas granulométricas Porcentaje en peso que pasa, %			
(mm)	(ASTM)	Tipo M-I	Tipo M-II	Tipo M-III	Tipo M-IV
12,5	(1/2")				100
10,0	(3/8")		100	100	85-98
5,0	(N.º 4)	100	85-95	70-90	62-80
2,5	(N.º 8)	85-95	62-80	45-70	41-61
1,25	(N.º 16)	60-80	45-65	28-50	28-46
0,63	(N.º 30)	40-60	30-50	18-34	18-34
0,315	(N.º 50)	25-42	18-35	12-25	11-23
0,16	(N.º 100)	15-30	10-24	7-17	6-15
0,08	(N.º 200)	10-20	5-15	5-11	4-9

Tabla 4: Usos Granulométricos (Fuente: EG - 2013)

- **Equivalente de arena – Norma ASTM D 2419 (AASHTO T 176)**

Este ensayo nos advierte la posible presencia de finos arcillosos en el agregado fino que podrían afectar la adherencia entre ligante-agregado e influir en su durabilidad. El resultado es un valor representativo de la proporción y características de los finos plásticos. Nos indica la cantidad de arena limpia de nuestra mezcla de agregados finos.

Procedimiento:

- Colocar solución de cloruro de calcio en el cilindro graduado, con la ayuda del sifón, a una altura de (4" ± 0.1").
- Luego poner la arena en el cilindro graduado con la ayuda de un embudo.
- Golpéese suavemente el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente.
- Dejar en reposo durante 10 ± 1 minuto. Al finalizar los 10 minutos, tapar el cilindro con un tapón, soltar el material del fondo.

- Después de soltar el material del fondo, se procede a agitar el cilindro, de forma manual o mecánicamente, luego se rellena con agua el tubo de ensayo, hasta 15”.
- Se deja reposar el tubo de ensayo por 20 minutos, transcurrido este tiempo se mide los tubos de ensayo.

Resultados:

Ensayo	Norma	Unid.	Exigencia	Resultado
			Mínimo	
Equivalente de Arena	MTC E 114	%	60	68

El resultado de la muestra reportó el valor de **68%** en Equivalente de Arena, el cual cumple con el valor mínimo especificado de 60%.



Figura 15: Ensayo de Equivalente de arena (Fuente: Elaboración propia)

- **Azul de metileno (Norma, ISSA TB 145)**

Este ensayo a través de los valores de reactividad de los finos del agregado nos determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador.

Procedimiento:

- Pesar 10.0 g ( $\pm 0.05$ g) de material pasante la malla (N° 200) seco, luego colocar en un vaso de precipitación de 500 ml.
- Luego poner 30 ml de agua destilada y batir con el agitador hasta tener una lechada.
- Agregar con la bureta a la lechada de suelo 0.5 ml de solución de Azul de Metileno y agitar durante un minuto.
- Con un agitador de vidrio mojar la punta del agitador con la mezcla ensayada y dejarla caer una gota sobre el papel filtro.
- Este proceso se repetirá hasta que en la gota vertida en el papel filtro se forme una aureola de color azul. Si no se ha formado alrededor de la gota una aureola azul, se continúa el ensayo adicionando a la mezcla de suelo incrementos de 0.5 ml de solución de Azul de Metileno, agitando durante un minuto para cada incremento.
- Cuando ya se haya conseguido la aureola, se continúa agitando durante 5 minutos y se repite la prueba en el papel filtro, como comprobación del resultado.

Resultado:

Ensayo	Norma	Und.	Exigencia	Resultado
			Máximo	
Azul de metileno	AASHTO TP 57	mg/gr	8	5

El resultado de la muestra reportó **5 mg/gr** de azul de metileno, el cual cumple con el valor máximo especificado de 8 mg/gr.

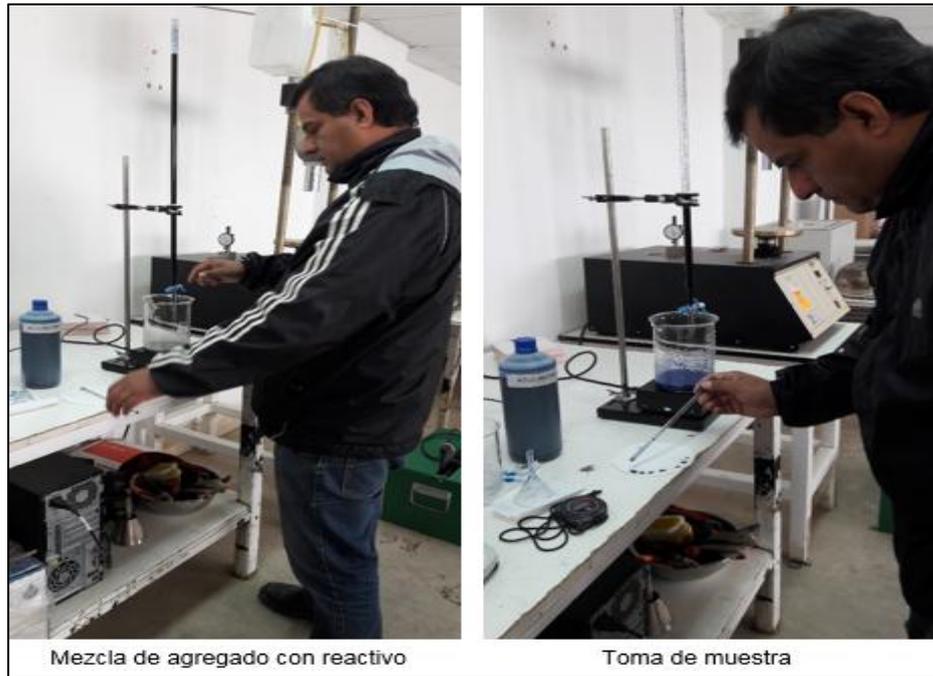


Figura 16: Ensayo de Azul de Metileno (Fuente: Elaboración propia)

- **Ensayo de desgaste de los Ángeles - ASTM C 131 (AASHTO T 969)**

Esta prueba nos determina la dureza del agregado y la resistencia a la abrasión bajo el tráfico.

Procedimiento:

- Los agregados a ensayar secos y limpios, con la cantidad de bolas de acero de acuerdo al método de ensayo, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se programa a una velocidad constante y a 500 ciclos para el ensayo.
- El ensayo se realiza a una velocidad constante e uniforme sin sobresaltos por cambios en la tensión de la corriente eléctrica.
- Cumplido los 500 ciclos del ensayo se saca el material de la máquina, y se procede a tamizar los agregados en la malla # 12, para separar los finos de los gruesos.

- Los agregados retenidos en la malla # 12, se lava, se seca en un horno a una temperatura de 100 a 110 °C, hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.
- Si el agregado está limpio, no es necesario lavar, se procede a ensayar la muestra tal y como está la muestra original.

Resultados:

El resultado de la muestra reportó 12% de desgaste, se usó el método C; siendo la exigencia para este ensayo máximo 25%, por lo que es un material óptimo para Micropavimento.

Ensayo	Norma	Unidades	Exigencia	Resultado
			Máximo	
Desgaste de Los Ángeles	MTC E 207	%	25	12



Figura 17: Equipo de Abrasión, ensayo de Desgaste de Los Ángeles

- **Durabilidad por sulfato de magnesio - ASTM C 88 (AASHTO T 104)**

El método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.

#### Procedimiento:

- Saturación de las muestras en la solución: Se introducirán las muestras en la solución preparada con el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante 24 horas, tener cuidado que la solución cubra a los agregados ensayados no menos 1,5 cm.
- Se tapan los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantendrán a una temperatura de  $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante el período de inmersión. Para mantener sumergidos los agregados muy livianos, estos se podrán cubrir con malla de alambre a las cuales se les agregará pesos y se colocarán sobre la muestra dentro del envase.
- Después del periodo de saturación, se decanta los agregados y se separa la solución, se escurre por un periodo de  $15 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$  y se coloca en el horno de secar. La temperatura del horno debe estar entre  $100^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$ .
- Se seca la muestra a la temperatura especificada hasta obtener un peso constante. Durante el período de secado, se sacan las muestras del horno y se pesan, sin enfriamiento, a intervalos de 2 a 4 h Se puede considerar que se ha alcanzado el peso constante cuando dos pesadas sucesivas para cualquier muestra, realizadas como se describe arriba difieran en menos del 1% del peso de la muestra en 4 h de secado.
- Después de haber conseguido el peso constante, enfríe la muestra a la temperatura ambiente y luego se sumerge en la solución.
- El lavado de la muestra debe hacerse con cuidado, no deberán golpearse entre sí, o abrasión que puedan producir una alteración de las muestras ensayadas.
- Se repite el procedimiento de saturación y secado hasta completar los ciclos requeridos para completar el ensayo.

Resultados:

Ensayo	Norma	Unidades	Exigencia	Resultado
			Máximo	
Durabilidad al sulfato de sodio	MTC E 209	%	12	2

El resultado de la muestra nos dio: 2% de desgaste, siendo la exigencia para este ensayo máximo 12%, por lo que es un material óptimo para Micropavimento.



Figura 18: Ensayo de Durabilidad (Fuente: Elaboración propia)

- **Filler mineral**

El filler mineral, se pueden utilizar indistintamente cemento Portland Tipo I, cal hidratada, polvo de piedra caliza o ceniza volcánica, con un porcentaje máximo del 2.0 %.

La cantidad de este relleno mineral tiene será determinado en el diseño del MPAF en laboratorio, también depende de la granulometría del agregado, el filler influye en el comportamiento de la ruptura y curado del mortero asfáltico. Como filler mineral se empleó cemento portland tipo I.



Figura 19: Cemento Portland Tipo I (Filler mineral)

### 3.2.3 Especificaciones técnicas

- **Determinación de la Viscosidad Saybolt Furol (Norma ASTM D-244).**

Procedimiento:

- La muestra debe homogeneizarse en un recipiente para posteriormente colocar 100ml en un vaso de precipitado (evitar la formación de burbujas)
- Sumergir el vaso en el baño de agua durante 30 minutos a una temperatura de 25 o 50 °C
- Mezclar la muestra con el termómetro, a razón de 60 revoluciones por minuto aproximadamente.
- Vaciar la muestra en el tubo del viscosímetro a través del tamiz No 20, hasta que rebase el nivel del tubo de derrame.
- Quitar rápidamente el tapón de la boquilla del tubo permitiendo que la muestra escurra hacia el matraz aforado.
- Tomar el tiempo (en segundos) en que tarde en llenarse el matraz especial estándar hasta la marca de aforo.
- El dato del tiempo tomado en segundos es el valor de la viscosidad Saybolt Furol a 25 o 50 °C

Resultados:

Ensayo	Método ASTM	Unidades	Especificaciones		Resultado
			Mínimo	Máximo	
Viscosidad Saybol Furol, 25 °C	D 7496	ssf	20	100	42



Figura 20: Equipamiento para determinación de la Viscosidad Saybolt Furol  
(Fuente: Catalogo Solotest)

- **Ensayo de Sedimentación (7 días) (Norma ASTM D-6930)**

Procedimiento:

- Determinar el residuo asfáltico R.A. de la emulsión que se va a ensayar.
- Introducir la emulsión en la probeta hasta la marca de 500 ml.
- Después de 24 horas, vaciar la probeta por medio del tubo insertado en la probeta a la altura de los 50 ml.
- Vaciar la emulsión remanente (50 ml) y determinar su residuo asfáltico Ri.
- La diferencia se puede expresar como sigue  $%S = \%R_o - R_i$

Resultados:

Ensayo	Norma	Und.	Exigencia	Resultado
			Máximo	
Sedimentación (7 días)	MTC E 404	%	5	1.4



Figura 21: Ensayo para determinar el grado de sedimentación con el tiempo de almacenamiento (Fuente: Emulsiones Asfálticas Ing. Gustavo Rivera)

- **Determinación de la Demulsibilidad (Norma ASTM D-244).**

Procedimiento:

- Determinar el tanto por ciento de residuo de la emulsión que se va a ensayar, ya sea por medio del ensayo de destilación o del residuo de evaporación.
- Tarar el vaso metálico, la varilla de metal y el tamiz No 14.
- Pesar 100 gr de emulsión asfáltica en el vaso.
- Añadir por medio de la bureta 35ml de solución de cloruro cálcico 0.02 N si la emulsión es aniónica o 0.8 % de dioctilsulfosuccinato sódico si la emulsión es catiónica.
- Durante dos (2) minutos agitar constantemente el contenido del vaso, deshaciendo los grumos contra las paredes y procurando que el reactivo y la emulsión se mezclen completamente.
- Colocar el tamiz N° 14 sobre un recipiente apropiado para posteriormente pasar la mezcla de emulsión y reactivo a través de este.
- Lavar adecuadamente con agua destilada el vaso, la varilla y el tamiz para después colocarlos en un horno y desecarlos a 163°C hasta peso constante.

- La diferencia entre el peso del conjunto del vaso, varilla y tamiz con el de tarado es el peso del residuo en el ensayo de demulsibilidad. Para obtener un dato más preciso se recomienda realizar al menos 3 ensayos.
- El resultado es el tanto por ciento de betún separado de la emulsión en el ensayo respecto al tanto por ciento de betún de la emulsión obtenido en el ensayo de destilación o residuo por evaporación.



Figura 22: Equipo para Determinación de Demulsibilidad (Fuente: Emulsiones Asfálticas Ing. Gustavo Rivera)

- **Mezcla con cemento (Norma ASTM D-244)**

Procedimiento

- Diluir la emulsión con agua destilada hasta que contenga un 55% de residuo, ya sea mediante destilación o por evaporación durante tres horas a 163°C
- Tamizar el cemento usando el tamiz #80 y pesar 50 gr. de la fracción que pasa el tamiz en la cápsula de hierro de fondo redondo de 500cc. de capacidad.
- Añadir 100cc de la emulsión diluida al cemento que se encuentra en la cápsula.

- Durante un minuto agitar la mezcla con la varilla de acero con movimientos circulares razón de 60 Rev. /min.
- Después añadir 150 cc (cm<sup>3</sup>) de agua destilada y durante otros tres minutos volver a agitar.
- Pasar la mezcla a través del tamiz # 14 previamente tarado y lavar con agua destilada, la misma que va a ser vertida desde un recipiente a una altura de 15 cm aproximadamente.
- Colocar el tamiz en una culata tarada y calentar a 163 °C en una estufa hasta que se deseque.
- Pesar el residuo obtenido en el tamiz, valor que en gramos se le considera como emulsión rota.
- El valor del ensayo de mezcla con cemento se lo expresa en tanto por ciento de emulsión rota respecto a la emulsión total, con un margen de error de 0.1 %.

Resultados:

Ensayo	Norma	Und.	Exigencia	Resultado
			Máximo	
Prueba del Tamiz	MTC E 405	%	0.1	0.0



Figura 23: Ensayo de Mezcla con Cemento (Fuente: Emulsiones Asfálticas Ing. Gustavo Rivera)

- **Tamizado por la Malla N° 20 (0.84mm) (Norma ASTM D-244)**

Procedimiento:

- Pesar el tamiz N° 20 con fondo y tapa; valor que se denomina peso tara **Pt**
- Una muestra de emulsión homogeneizada se vierte en el vaso de 1000 cc
- Tamizar la muestra con la finalidad de retener los glóbulos mayores de 8 micras.
- Para evitar reacciones químicas se recomienda mojar el tamiz con la misma solución jabonosa de la emulsión asfáltica.
- Posteriormente lavar el tamiz con agua acidulada.

- Colocar el fondo y la tapa para, secar el conjunto en el horno durante dos (2) horas a 100°C, después sacar del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente, y luego pesar (**Pr**).

Resultados:

Ensayo	Norma	Und.	Exigencia	Resultado
			Máximo	
Mezcla con cemento	MTC E 410	%	2	0.0



Figura 24: Ensayo de Tamizado de la emulsión asfáltica (Fuente: Emulsiones Asfálticas Ing. Gustavo Rivera)

- **Ensayo de Destilación de la emulsión (Norma ASTM D-2449)**

Procedimiento

- Pesar 200 gramos de una muestra representativa de emulsión asfáltica en el alambique previamente tarado, incluyendo los otros accesorios como son: tapaderas, abrazadera, termómetro, etc.
- Entre la tapadera, el anillo de presión y el alambique debe usarse un empaque de papel con aceite
- Insertar el termómetro mediante un tapón de corcho de tal manera que el bulbo quede a 6.4mm de fondo del alambique.

- Conectar el alambique y colocar alrededor de este el quemador de gas de 101.6mm de diámetro con el que se calentará la parte superior del citado alambique.
- El valor del peso del alambique, sus accesorios y la emulsión asfáltica se le designa como  $W_i$ .
- Con el mechero Bunsen, aplicar suficiente calor al tubo de conexión para evitar la condensación de agua en éste.
- Cuando la temperatura de la muestra haya llegado a 121 °C, bajar el quemador hasta la mitad de la altura del alambique y mantener en esa posición hasta alcanzar la temperatura de 176 °C, para posteriormente bajar nuevamente el quemador hasta la altura de 6.4 mm del fondo del alambique.
- Elevar la temperatura de la muestra hasta 260 °C y mantener durante un lapso de 15 minutos.
- Finalmente, se debe desconectar el alambique y pesarlo con todos los accesorios; a este peso se le designa como  $W_f$ .

Según el porcentaje del peso original de la muestra se obtiene el valor del residuo de destilación de la emulsión, mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{200 - (W_i - W_f)}{200} \times 100$$

Dónde:

R = por ciento de residuo de la emulsión asfáltica

$W_i$  = peso en gramos del alambique, accesorios y emulsión antes del ensayo

$W_f$  = peso en gramos del alambique, accesorios y emulsión después del ensayo

$W_i - W_f$  = peso del residuo en gramos.

- Si el residuo va a emplearse para efectuar otras pruebas, después de haber pesado el alambique al finalizar la destilación se destapa y se vierte su contenido a través del tamiz N° 50, en los moldes y recipientes adecuados para las pruebas que van a realizarse.

Resultados:

Ensayo	Norma	Und.	Exigencia	Resultado
			Mínimo	
Residuo de Evaporación	MTC E 411	%	60	62.5

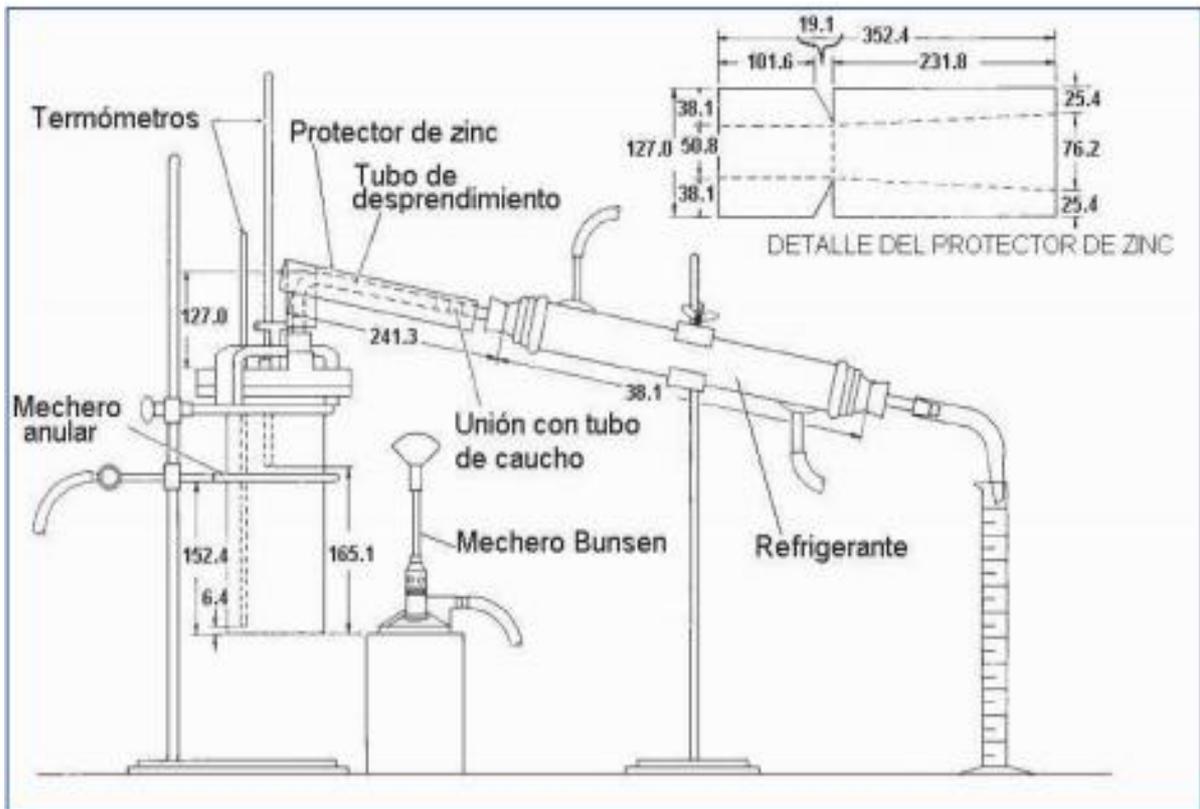


Figura 25: Equipo para la prueba de destilación de emulsiones asfálticas (Fuente: Manual de Ensayos de Materiales - MTC)

- **Prueba de Penetración del residuo asfáltico (Norma ASTM D5 - 05)**

Procedimiento:

- La muestra no será calentada a menos de 60 °C y máximo por 60 minutos.
- La muestra se coloca en un recipiente lo suficientemente profundo, al menos un 120% la altura de la aguja.
- Se deja enfriar a temperatura ambiente entre 1 a 2 horas.

Las condiciones en que se debe llevar a cabo el ensayo son las siguientes:

- A una temperatura de 25°C,
- la aguja cargada con 100 gramos y;
- la carga debe ser aplicada durante 5 segundos.
- El equipo a utilizarse es el Penetrómetro
- Una vez encerado el equipo se coloca la muestra dentro de la bandeja del penetrómetro lleno con agua.
- Bajar la aguja hasta que la punta de la misma haga un mínimo contacto con la muestra.
- Soltar rápidamente el sostenedor de la aguja hasta cumplir con el periodo de tiempo establecido en la norma
- Ajustar el instrumento para su medición de penetración en decimas de milímetros.
- Realizar al menos 3 muestras para obtener un valor más cercano a la realidad.

Resultados:

Ensayo	Norma	Und.	Exigencia	Resultado
			Mín. - Máx.	
Penetración, 25°C, 100G, 5s	MTC E 304	dmm	60 - 90	65

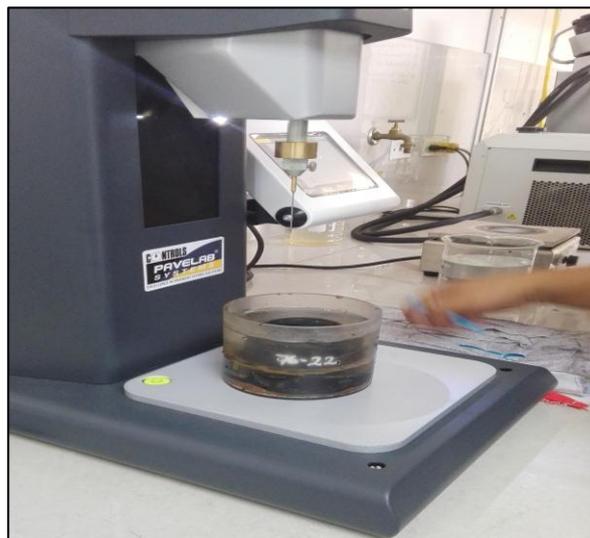


Figura 26: Equipo para determinar la Penetración del Residuo Asfáltico

### 3.2.4. Ensayo para mezclas de MPAF

- **Ensayo de mezclado manual (Norma ISSA TB 113)**

Procedimiento:

- Antes de la elaboración de las muestras, el agregado debe estar seco.
- En un recipiente colocar 100g de agregado.

La elaboración de cada muestra se hace:

- Se coloca un % de agua y con una espátula se mezcla por 20" o hasta que la mezcla se vea uniforme.
- De la misma manera colocar un % de emulsión y con la espátula mezclar durante 30".

Sobre un papel filtro, colocar una porción de la muestra, esto se hace con el objetivo de controlar la evaporación de agua de la mezcla.

- Las muestras de mezclas ensayadas con diferentes % de emulsión y de agua se mezclan por un tiempo de 5 minutos y se registra el tiempo en que demora en romper.
- Este procedimiento se ejecuta y evalúa con todas las muestras ensayadas, con agregado a diferentes % de agua y emulsión asfáltica.

Recomendaciones:

Cuando las muestras pierdan brillo o adherencia, esto se debe a que los agregados se están lavando o la emulsión se está sedimentando. Una alternativa para estos defectos es probar con varias muestras, y con diferentes % de ligante y de agua. De persistir este fenómeno de incompatibilidad entre agregado y ligante es preferible cambiar de emulsione, sustituirla por otro tipo de emulsión.

Si la muestra tiene una superficie de color gris, blanco o presentan espejos; pueden ser por las siguientes causas:

- Demasiada agua en la mezcla
- Súper saturación de los agregados
- Alto contenido de finos

El curado a altas temperaturas permiten eliminar, que la superficie de la muestra pierda su color.

Si en la superficie de la muestra hubiera un exceso de finos, se puede eliminar con una escobilla mojada.

El desprendimiento del agregado de la superficie de la muestra, al hacer contacto con el pulgar, puede ser causado por diferentes motivos:

- Bajo contenido de emulsión asfáltica
- Exceso de agua
- Alto contenido de finos para el porcentaje de emulsión.
- Otra causa puede ser la incompatibilidad de la emulsión con los agregados de la mezcla, o la falta de finos en la misma.



Figura 27: Secado en horno del agregado



Figura 28: Mezclado de la muestra

- **Ensayo de cohesión (Norma ISSA TB 139)**

Procedimiento

Antes de realizar este ensayo, tenemos que hacer la prueba de mezclado manual para poder determinar el óptimo contenido de emulsión asfáltica y de agua, para proceder a elaborar la mezcla que será ensayada en el cohesímetro.

- Previa a la elaboración de las muestras, el agregado debe estar seco.
- Una vez elaborada la mezcla de micropavimento, se moldea en un aro metálico de espesores variables de acuerdo a la granulometría de diseño, que para nuestro caso es del tipo III.
- Las muestras moldeadas se ensayan en intervalos de tiempo de 15, 30 y 60 minutos. Siendo la primera muestra la que marca el tiempo de inicio de la serie.

- La muestra se coloca en el cohesímetro, para proceder a ensayar y determinar el grado de cohesión de las mismas en el tiempo transcurrido hasta el ensayo.
- En el cohesímetro a la muestra se aplica una presión neumática de 25 psi (200 KPA) y a la par se gira un torquímetro a 90° y se anota el valor en kg-cm.

Interpretación de datos:

Si se desarrolla un valor de torque de 12 kg.cm en un tiempo de 20 a 30 minutos nos demuestra que la mezcla es de Rápido Curado; y si obtenemos un torque de 20 kg-cm en un tiempo de 60 minutos es considerado de Trafico Rápido.

Un valor de torque de 12 kg-cm es considerado valor de cohesión, donde la mezcla ya no puede ser remezclada y presenta resistencia al agua. Y con un valor de 20 kg-cm se puede considerar que ha alcanzado suficiente cohesión se puede apertura el tráfico vehicular.

Procesamiento de datos:

Con los resultados obtenidos en el ensayo de cohesión, se grafica una curva de cohesión, en el eje de las abscisas se coloca el tiempo de ensayo de la muestra con respecto al tiempo inicial de serie, y en el eje de las ordenadas se coloca el valor del torque (kg.cm) a 200 kPa de cada una de las muestras. Esta curva se compara con las curvas de cohesión determinadas en la norma ISSA, a fin de establecer el tiempo de apertura al tránsito de la vía. A continuación, se muestran los resultados en resumen y la figura N° 21 que muestra el procedimiento en laboratorio para la determinación de la cohesión de la muestras de MPAF.

Resultados:

Ensayo	Norma	Tiempo de mezclado (segundos)	Cohesión (kg.cm)		Resultado	
			30 min. - 60 min.		30min. - 60 min.	
Cohesión	ISSA TB-139	>120	12	20	18	22

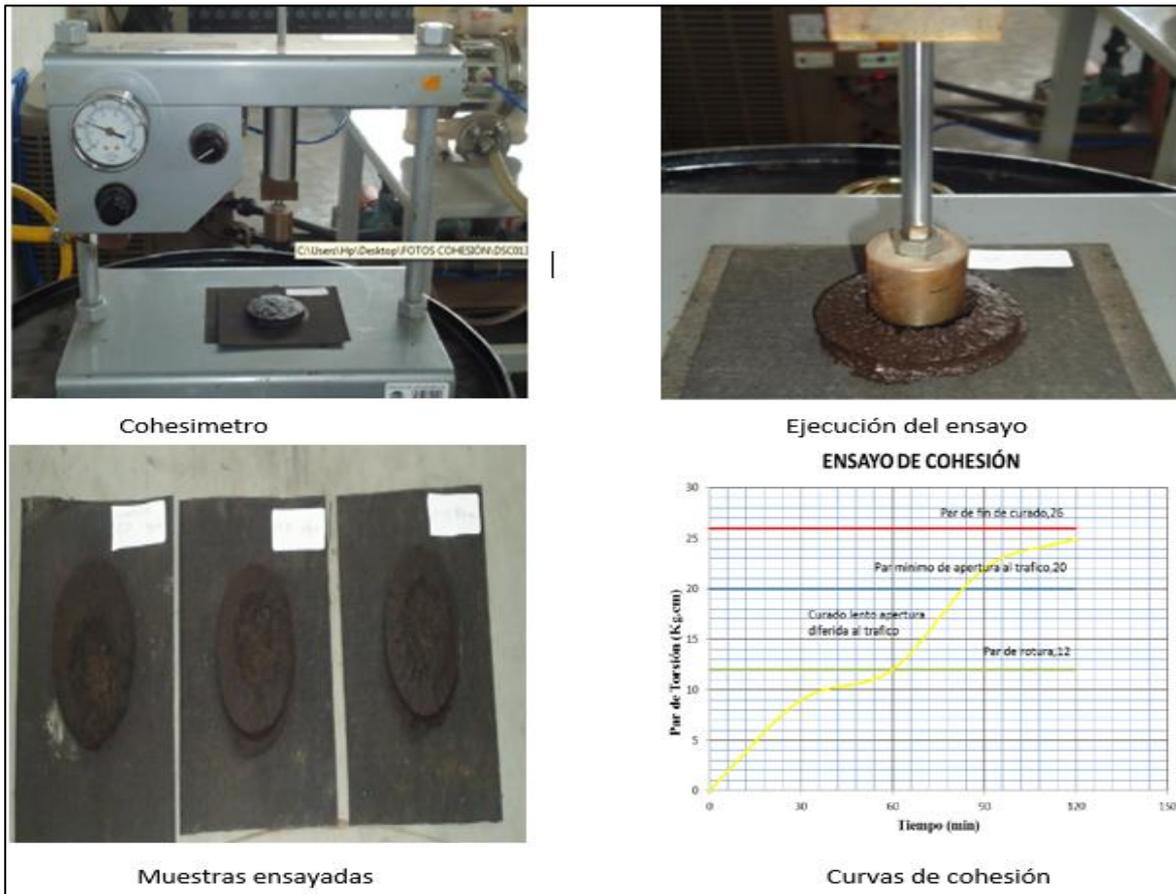


Figura 29: Ensayo de cohesión - cohesímetro (Fuente: ISSA TB 139)

- **Prueba de Abrasión por Vía húmeda - WTAT (Norma ISSA TB 100)**

**Procedimiento**

Se pasa el agregado a utilizar en la mezcla, por la malla # 4, se pesa 800g para la elaboración de las muestras, y se preparan diferentes muestras con diferentes % de emulsión y de agua, para nuestro diseño colocaremos aros de acero de 10mm de espesor por tratarse de una granulometría del tipo III y de un diámetro de 280 mm.

- Secar las muestras a 60°C, en horno por un tiempo no menor de 15 horas.
- Después de curadas las muestras, se pone a enfriar a temperatura ambiente para poder obtener su peso **P1**

- La muestra a ensayar se sumerge entre 60 a 75 minutos en agua a la temperatura de 25 °C
- Se ensaya la muestra sumergida, por 5 minutos en el equipo de abrasión, a una temperatura del agua de 25°C.
- La muestra ensayada se lava, para poder retirar los residuos de arena suelta y se pone a secar a una temperatura de 60°C al horno, luego poner a enfriar a temperatura ambiente y obtener el peso de la muestra **P2**.
- La cantidad máxima de peso que puede perder la muestra es de 538 gr/m<sup>2</sup> caso contrario se tiene que rediseñar el micropavimento.

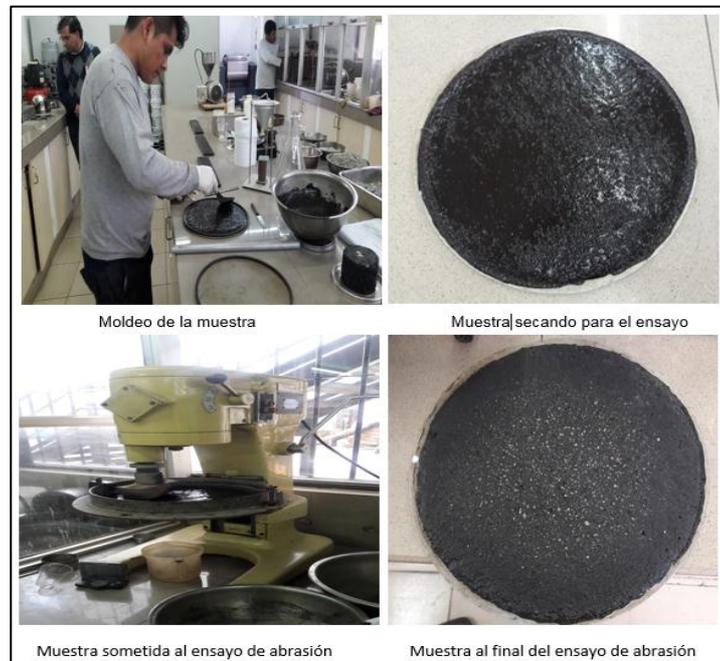


Figura 30: Ensayo de abrasión en vía húmeda (Ensayo de muestras)

Procesamiento de datos:

- Con los resultados obtenidos en cada una de las muestras se grafica una curva, donde el porcentaje de residuo asfáltico o emulsión asfáltica va en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas el valor de pérdida por abrasión, como se muestra en la figura N° 31.

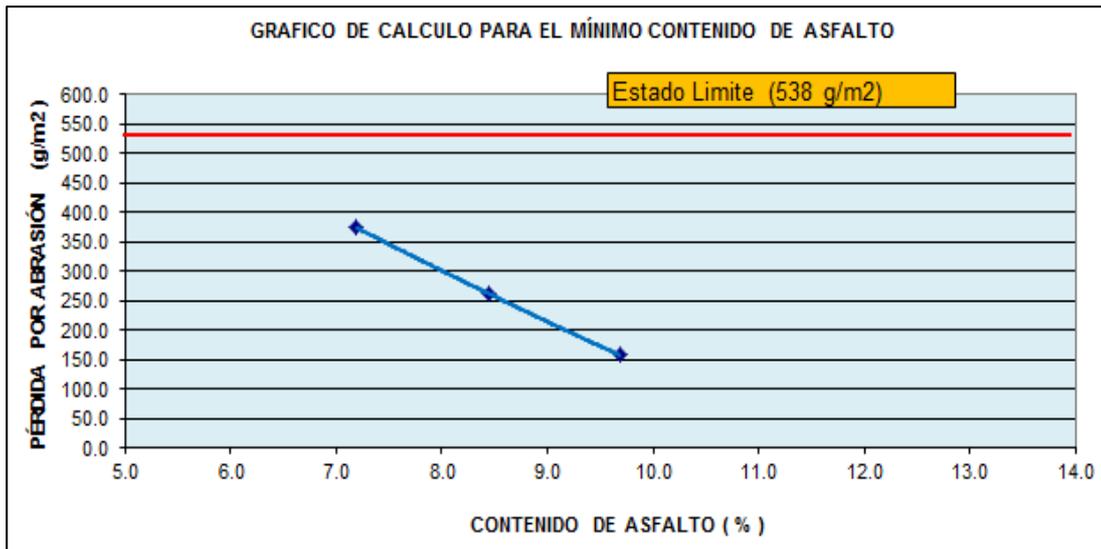


Figura 31: Contenido mínimo de asfalto, a abrasión por vía húmeda - WTAT  
(Fuente: TDM 2017)

#### Recomendaciones

Las muestras deberán ser mezcladas homogéneamente, y los componentes de la misma tendrán que ser los mismos porcentajes del diseño, el tiempo de mezcla no debe ser menor de 3 minutos.

Después de esparcir uniformemente dentro del aro de acero la mezcla de micropavimento, se retira el aro al minuto de ser moldeado.

Para determinar el factor de cálculo de pérdida por abrasión, tiene que ver con el tipo y modelo de equipo que se está usando. Por eso se debe recurrir a la tabla 1 de la norma del ensayo.

#### Resultados:

Cemento asfáltico modificado con polímero	Norma	Emulsión (%)	WTAT (g/m <sup>2</sup> )	Especificación
7.2	ISSA TB 100 MTC E 417	11.5	374.3	Máx. 538 g/m <sup>2</sup>
8.5		13.5	262.4	
9.7		15.5	157.4	

- **Ensayo de la Rueda Cargada - LWT (Norma ISSA TB 109)**

Procedimiento

- Las muestras para ensayar deberán ser elaboradas con 300 g de agregados, para cada punto de prueba.
- Es necesario elaborar varios puntos de prueba con diferentes contenidos de emulsión asfáltica y de agua.
- El molde a utilizar debe ser de un espesor 25% mayor al tamaño máximo del agregado, los moldes son de forma rectangular de 5 cm de ancho por 37.5 cm de largo.
- Según norma dejar curar en el horno a 60°C, por un tiempo de 12 horas y obtener peso constante.
- Cumplido el tiempo de curado se coloca en el equipo de Rueda Cargada, para ser compactada con una carga de 57 kg. Se somete a la muestra a 1000 ciclos, a 25°C.
- Terminada de pasar la rueda cargada, la muestra se retira del equipo se lava y se seca en el horno a peso constante a 60°C., obtenemos el peso **P1**.
- Se coloca arena de Ottawa, calentada a 82° un peso de 200 g. sobre la muestra ensayada.
- Se repite el ensayo de la muestra con la arena de Ottawa, solo con 100 ciclos con la rueda cargada.
- Concluido el ensayo se saca la muestra del equipo se limpian los granos de arena que no se han adherido con una escobilla de cerdas suaves; de este proceso obtenemos el peso **P2**.
- Por diferencia de pesos de P1 y P2, obtenemos la cantidad de arena de Ottawa adherida a la muestra.
- Al final del ensayo, nuestro valor de adherencia de arena en la muestra no debe ser mayor de 538 gr/m<sup>2</sup>.

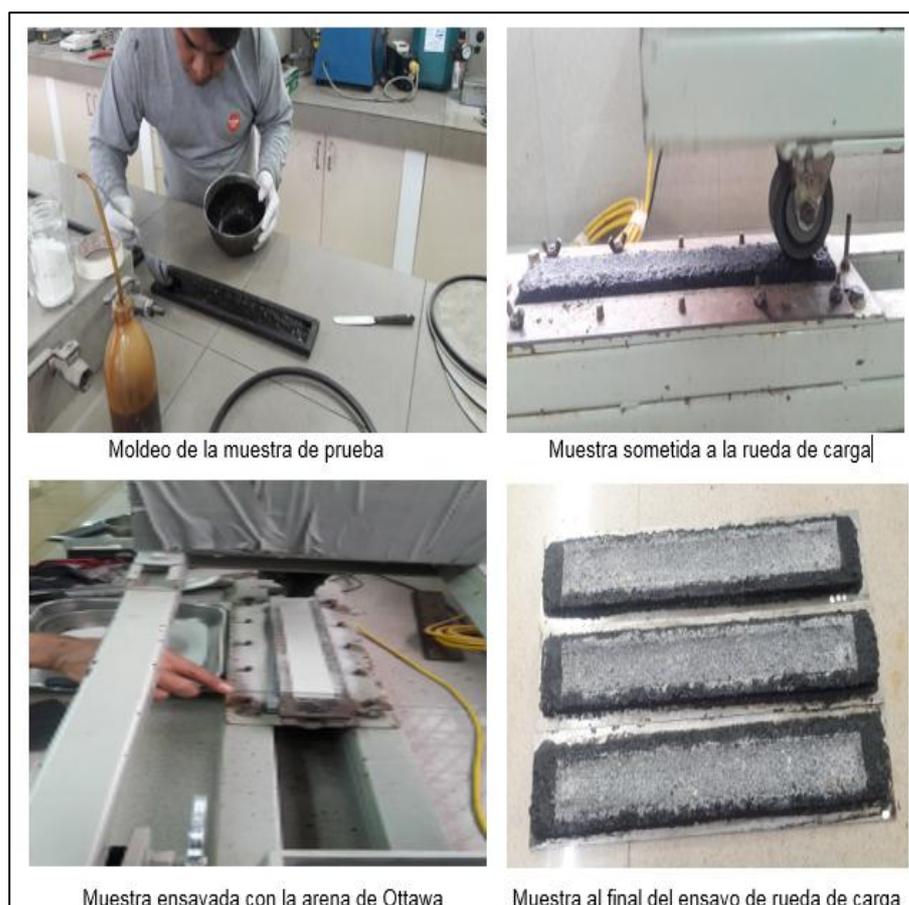


Figura 32: Muestras para ensayo de la rueda cargada - LWT

**Resultados:**

Cemento asfáltico modificado con polímero	Norma	Emulsión (%)	LWT (g/m <sup>2</sup> )	Especificación
7.2	ISSA TB 109 MTC E 418	11.5	351.9	Máx. 538 g/m <sup>2</sup>
8.5		13.5	416.7	
9.7		15.5	497.2	

**Procesamiento de datos:**

- Los resultados obtenidos por cada muestra ensayada nos da los valores para proyectar una curva, en el eje de las abscisas se pone el porcentaje de del residuo asfáltico y en el eje de las ordenadas el porcentaje de adherencia de la de arena, como se muestra en la figura N° 33.



Figura 34: Grafica del contenido óptimo de asfalto, por combinación de curvas.

(Fuente: TDM 2017)

- **Ensayo de consistencia con el Cono para Morteros Asfálticos (Norma, ISSA TB 106)**

Es muy importante conocer el óptimo contenido de agua, en un mortero asfáltico, de ello dependerá el buen desempeño, cuando sea aplicado la mezcla de mortero asfáltico en la vía tratada.

#### Procedimiento

- Los agregados utilizados en la mezcla para las pruebas deben ser secados en un horno hasta obtener peso constante a una temperatura de 110 °C.
- Las muestras se elaboran con 400g de agregado, se harán pruebas hasta obtener el resultado deseado.
- Las muestras se elaborarán con diferentes contenidos de agua, pero respetando el contenido de emulsión asfáltica del diseño.
- Las muestras serán batirán hasta obtener una mezcla homogénea, por un espacio de tiempo de 1 a 3 minutos.
- Este ensayo esta descrita en las normas americanas ASTM C 128 o la AASHTO T 84, se usa una hoja impresa a escala según norma.
- La mezcla de la muestra se coloca en el interior del cono, con la ayuda de una cuchara, haciéndolo hasta que rebose ligeramente; para luego enrasar y levantar el cono con un movimiento rápido y en forma vertical
- Ya retirado el cono la mezcla fluye en la hoja graduada, se deja hasta que la mezcla termine de expandirse sobre el papel.
- Cuando la mezcla ha terminado de expandirse, se hacen las respectivas mediciones en cuatro puntos, separados entre sí 90 °, y con una aproximación de 0,25 cm.

#### Resultados:

- El resultado del ensayo es el valor medio de las cuatro lecturas realizadas con un margen de error de  $\pm 0,5$  cm. Un óptimo contenido de agua en la

mezcla, es la que se consigue una consistencia de 2.5 cm, con límites entre 1.9 y 3.0 cm.

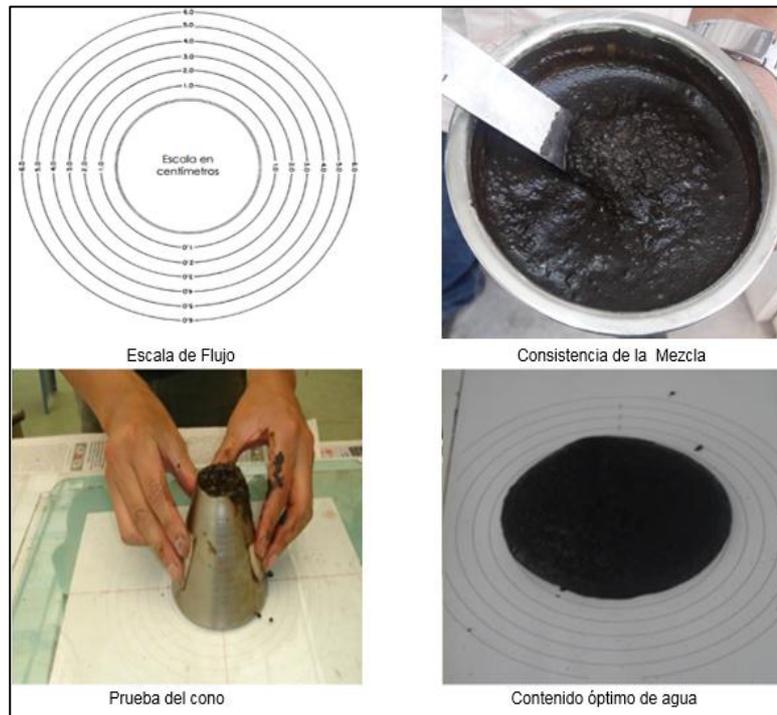


Figura 35: Prueba de Cono para morteros asfálticos. (Fuente: ASTM D 3910)

- **Compatibilidad Schulze Breuer & Ruck**

Este método de prueba cubre la determinación de la compatibilidad relativa entre el agregado de graduación específica y la emulsión asfáltica, asfalto residual o bitumen.

#### Procedimiento

- Se prepara la mezcla y se moldea un espécimen que luego se somete a un acondicionamiento en agua por 6 días.
- Luego se introduce en el tubo cilíndrico del equipo que se llena con agua y la mezcla se somete a abrasión con ayuda del equipo Schulze-Breuer y Ruck.
- Una vez hecho la anterior, la muestra se somete a ebullición y luego se seca.
- Se reporta la absorción, la pérdida por abrasión, la adhesión (porcentaje de recubrimiento) y la integridad.
- El método se describe en el documento ISSA TB-144.

Resultados:

PUNTAJE TOTAL	ESPECIFICACION
12	MINIMO 11 (AAA, BAA)



Figura 36: Equipo de Schulze-Breuer y Ruck (Fuente: TDM 2017)



Figura 37: Muestras ensayadas después del hervido (Fuente: TDM 2017)

### 3.2.5. Aspectos técnicos y económicos para el diseño del MPAF

- Aspectos técnicos

Antes de realizar el tratamiento, se debe fijar con exactitud el objetivo del mismo, a fin de que queden definidas las variables que influirán en el desempeño del revestimiento en servicio.

Es necesario fijar los requisitos de sub-base y base, tráfico esperado y demás parámetros importantes en la definición del objetivo.

Debido a su pequeño espesor, los MPAF son tratamientos que no aportan coeficiente estructural al pavimento y, por tanto, su empleo está dirigido como revestimiento de desgaste en vías con regular a buena Capacidad de Soporte y bajas intensidades de tránsito.

Estos micropavimentos permiten aprovechar las condiciones del terreno y aplicar capas de poco espesor, cumpliendo la función propia de los pavimentos flexibles, que es proteger la estabilidad de las capas o bases, proporcionar capa de rodadura impermeable, incluso renovarlas según el desgaste superficial ocasionado por el uso vehicular.

- **Aspectos económicos**

La condición de utilizar menor cantidad de materiales en revestimientos con espesores reducidos, conlleva a economías sustanciales en las labores de pavimentación, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos, las cuales podrían significar reducciones de precios unitarios en el orden del 30 % con la relación a lo tradicional; siendo aún mayores cuando las plantas de asfalto de MAC se encuentran situadas a una distancia tal que el transporte de la mezcla y las condiciones ambientales (especialmente en épocas de invierno) aumentan considerablemente las dificultades de aplicación debido a la caída de la temperatura y el costo unitario de la MAC.

Además debe anotarse que el rendimiento de la labor de aplicación del MPAF sobre una base adecuadamente preparada y en buenas condiciones de trabajo puede llegar a unos 3.000 metros cuadrados por día, lo cual significa una mejora en los costos sociales de los proyectos de pavimentación o de rehabilitación, con menos molestias para los usuarios y menor impacto ambiental, mejor rendimiento financiero e impacto político-social y cultural para la Entidad Contratante, ya que

se pueden ejecutarse pavimentaciones en plazos reducidos y con menores costos unitarios.

Dentro del aspecto económico la tecnología de micropavimentos en frío tiene ventajas, principalmente porque la mejora sustancial de la adherencia de la capa asfáltica, se aplica sin necesidad de riegos de liga. Además, el rendimiento de la labor de aplicación del micropavimento sobre una base adecuadamente preparada y en buenas condiciones de trabajo puede llegar a unos 3.000 metros cuadrados por día, lo cual significa una mejora dentro de la afectación de los proyectos de pavimentación o de recuperación.

Presenta menores molestias para los usuarios y vecinos de las zonas intervenidas. Además con un mejor rendimiento financiero para la entidad contratante ya que se puede culminar la obra en menor plazo, con menores costos.

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1 Comparativo de Costos - alternativa convencional y la propuesta

Para efectos de comparación se ha adoptado un metrado referencial de 3.000,00 metros cuadrados (m<sup>2</sup>), considerando la partida que influyen en los costos: Revestimiento Asfáltico.

#### 4.1.1 Análisis de Precios Unitarios

Pavimento con MAC

Partida	3.03 Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC), espesor = 5 cm						
Rendimiento	m2/día	2400.00					
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
	<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz		hh	1.0000	0.0033	21.89	0.07
	Operario		hh	2.0000	0.0067	18.24	0.12
	Peón		hh	6.0000	0.0200	13.74	0.27
							0.47
	<b>Materiales</b>						
	Mezcla Asfáltica		m3		0.0625	380.00	23.75
							23.75
	<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales		% MO		0.0300	0.47	0.01
	Camión Volquete 15 m3		hm	4.0000	0.0133	120.00	1.60
	Rodillo Liso Vib. Autoprop. 70 - 100 HP, 7 -9 tn		hm	1.0000	0.0033	100.00	0.33
	Rodillo Tand Est. Autoprop. 58 - 70 HP, 8 -10 tn		hm	1.0000	0.0033	85.00	0.28
	Pavimentadora		hm	1.0000	0.0033	150.00	0.50
							2.73
							<b>26.95</b>

Tabla 5: Precios Unitarios de pavimento con MAC (Fuente: Elaboración propia)

## Pavimento con MPAF

<b>Partida</b>	<b>3.03 Revestimiento con MAF (e = 10 mm)</b>						
Rendimiento	m2/día	1800.00					
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
	<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz		hh	1.0000	0.0044	21.89	0.10
	Operario		hh	1.0000	0.0044	18.24	0.08
	Oficial		hh	2.0000	0.0089	15.28	0.14
	Peón		hh	2.0000	0.0089	13.74	0.12
							0.44
	<b>Materiales</b>						
	Emulsión Asfáltica (EAMp)		gln		0.5500	8.750	4.81
	Agua Potable		m3		0.0020	15.000	0.03
	Cemento Portland Tipo I		bls		0.0060	18.000	0.11
	Agregado fino seleccionado		m3		0.0120	45.000	0.54
							5.49
	<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales		% MO		0.0500	0.44	0.02
	01 Camión Planta		hm	1.0000	0.0044	500.00	2.22
							2.24
							<b>8.17</b>

Tabla 6: Precios Unitarios de pavimento con MPAF (Fuente: Elaboración propia)

## 4.1.2 Presupuestos

### Pavimento con MAC

<b>PRESUPUESTO DE OBRA - PAVIMENTO CON MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE - MAC (TRADICIONAL)</b>							
PROYECTO	"MICROPAVIMENTO: ALTERNATIVA TECNICO-ECONOMICA PARA LA PAVIMENTACION DEL ASENTAMIENTO HUMANO LAS LOMAS DE MARCHAN-PUCUSANA/LIMA"						
AREA REFERENCIAL	6.00 m x 500.00 m = 3000.00 m2						
RESPONSABLE	Orlando Coronel Fonseca						
ASUNTO	Valor Presupuesto - Referencial del Pavimento						
FECHA	Agosto del 2017						
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	P. UNIT.	PARCIAL		
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>			S/.	S/.		
1.01	Mobilización y Desmobilización de Equipo	Gbl	1.00	1270.56	1,270.56		
1.02	Construcciones Provisionales	Gbl	1.00	1,000.00	1,000.00		
1.03	Panel de Obra de 3.60 x 7.20 m UNA CARA	Und	1.00	1,287.86	1,287.86		
1.04	Trazo y replanteo	m2	3000.00	1.88	5,640.00		
1.05	Limpieza de Terreno Natural	m2	3,000.00	0.89	2,670.00		
<b>2.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>						
2.01	Corte a nivel de Sub-rasante	m3	1,950.00	5.53	10,783.50		
2.02	Conformación y Compactación de la Sub-rasante con Equipo	m2	3000.00	2.48	7440.00		
2.03	Relleno y Compactación con Material de Préstamo con Equipo	m3	192.50	39.56	7,615.30		
2.04	Eliminación de Material Excedente con Equipo hasta 20 km	m3	2,632.50	12.56	33,064.20		
<b>3.00</b>	<b>PAVIMENTOS</b>						
3.01	Base Compactada, h = 0.25 m c/Equipo	m2	3,000.00	13.43	40,290.00		
3.02	Imprimación Asfáltica	m2	3,000.00	3.92	11,760.00		
3.03	Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC), espesor = 5 cm	m2	3,000.00	26.95	80,850.00		
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>202,400.86</b>		
	<b>GASTOS GENERALES (10.0%)</b>				<b>20240.09</b>		
	<b>UTILIDAD (10.0%)</b>				<b>20,240.09</b>		
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>242,881.03</b>		
	<b>IGV (18%)</b>				<b>43,718.59</b>		
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>286,599.62</b>		
(SON: DOCIENTOS SETENTA OCHO MIL CIENTO TRES Y 62/100 SOLES)							

Tabla 7: Costos de pavimento con MAC (Fuente: Elaboración propia)

## Pavimento con MPAF

<b>PRESUPUESTO DE OBRA - PAVIMENTO CON MICROPAVIMENTO ASFALTICO EN FRIO - MPAF</b>						
PROYECTO	"MICROPAVIMENTO: ALTERNATIVA TECNICO-ECONOMICA PARA LA PAVIMENTACION DEL ASENTAMIENTO HUMANO LAS LOMAS DE MARCHAN-PUCUSANA/LIMA"					
RESPONSABLE	Orlando Coronel Fonseca					
AREA REFERENCIAL	6.00 m x 500.00 m = 3000.00 m2					
ASUNTO	Valor Presupuesto - Referencial del Pavimento					
FECHA	Agosto del 2017					
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	P. UNIT.	PARCIAL	
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>			S/.	S/.	
1.01	Mobilización y Desmobilización de Equipo	Gbl	1.00	1270.56	1,270.56	
1.02	Construcciones Provisionales	Gbl	1.00	1,000.00	1,000.00	
1.03	Panel de Obra de 3.60 x 7.20 m UNA CARA	Und	1.00	1,287.86	1,287.86	
1.04	Trazo y replanteo	m2	3000.00	1.88	5,640.00	
1.05	Limpieza de Terreno Natural	m2	3,000.00	0.89	2,670.00	
<b>2.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					
2.01	Corte a nivel de Sub-rasante	m3	1,950.00	5.53	10,783.50	
2.02	Conformación y Compactación de la Sub-rasante con Equipo	m2	3000.00	2.48	7440.00	
2.03	Relleno y Compactación con Material de Préstamo con Equipo	m3	192.50	39.56	7,615.30	
2.04	Eliminación de Material Excedente con Equipo hasta 20 km	m3	2,632.50	12.56	33,064.20	
<b>3.00</b>	<b>PAVIMENTOS</b>					
3.01	Base Compactada, h = 0.25 m c/Equipo	m2	3,000.00	13.43	40,290.00	
3.02	Imprimación Asfáltica	m2	3,000.00	3.92	11,760.00	
3.03	Micropavimento Asfáltico en Frio (MPAF), espesor = 10 mm	m2	3,000.00	8.17	24,510.00	
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>146,060.86</b>	
	<b>GASTOS GENERALES (10.0%)</b>				<b>14606.09</b>	
	<b>UTILIDAD (10.0%)</b>				<b>14,606.09</b>	
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>175,273.03</b>	
	<b>IGV (18%)</b>				<b>31,549.15</b>	
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>206,822.18</b>	
(SON: CIENTO NOVENTA OCHO MIL TRESCIENTOS VEINTISEIS Y 18/100 SOLES)						

Tabla 8: Costos de pavimento con MPAF (Fuente: Elaboración propia)

### 4.1.3 Resumen - Comparativo de Costos

Costos Directos Globales (considera todas las partidas de Pavimentación)

Valor c/MAC	S/.	202400.86		
Valor c/MPAF	S/.	146060.86		
Diferencia	S/.	56340.00		
En Porcentaje	con MAC		con MPAF	Economía
	100%		72.16%	<b>27.84%</b>

Tabla 9: Costos directos globales (Fuente: Elaboración propia)

Costos Directos Parciales (considera solo el revestimiento asfáltico)

Costo Directo c/MAC	S/.	80850.00		
Costo Directo c/MPAF	S/.	24510.00		
<b>Diferencia</b>	S/.	<b>56340.00</b>		
<b>En Porcentaje</b>	<b>con MAC</b>		<b>con MAF</b>	<b>Economía</b>
	100%		30.32%	<b>69.68%</b>

Tabla 10: Costos directos parciales (Elaboración propia)

## V. CONCLUSIONES

1. Para la determinación de los parámetros de diseño estructural del pavimento de las vías del Asentamiento Humano Lomas de Marchan-Pucusana/Lima, por un lado, se realizaron en laboratorio los ensayos de CBR (California Bureau Ratio) del suelo de Sub-rasante y del afirmado de Base Granular. Para el tránsito actuante, se consideró la circulación de vehículos ligeros (autos, camionetas), adoptándose para el cálculo 100 vehículos/día. Los parámetros de CBR considerados se muestran en el anexo 2:

CBR de Sub-rasante = 10.0 %

CBR de Base Granular = 80.0 %

Número de repeticiones carga para 100 vehículos/día =  $5.0E + 04$

2. El paquete estructural del pavimento se diseñó empleando el método de diseño australiano del NAASRA-National Association of Australian State Road Authorities (actualmente conocido como AUSTROADS), dando como resultado un espesor necesario de base granular de 25 cm:

Base Granular = 25 cm

Este espesor de afirmado procedente de la Cantera "Crushing" / Pucusana encima de la sub-rasante terminada, resuelve la exigencia estructural del pavimento en estudio.

3. En función al tipo de vía, a la estructura definida en el ítem anterior (2) se propone una capa de desgaste a través de un revestimiento con MPAF, el cual nos permite aplicar capas de poco espesor, en este caso de 10 milímetros que cumple función de desgaste durante un periodo de vida útil de 5 años, según los reportes estadísticos internacionales que reportan un desgaste de capa de MPAF en carreteras o autopistas de 1mm por año.
4. Para el diseño de la mezcla de MPAF de espesor 10 mm, cumpliendo el procedimiento ISSA-III, se ha utilizado el agregado fino procedente de la

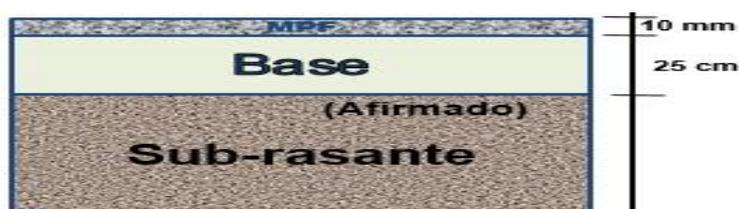
Cantera "Crushing" y la Emulsión Asfáltica Modificada con Polímeros (EAMP) del fabricante Tecnología de Materiales - TDM.

5. La granulometría del agregado fino se encuadra en la gradación Tipo M-III de la especificación EG-2013, basada en la ISSA-III, y está diseñado para una aplicación mínima de 10 milímetros de espesor.
6. La Emulsión Asfáltica Modificada con Polímeros (EAMP), posee un Residuo Asfáltico de 62.5 % y encuadra en las especificaciones técnicas establecidas para MPAF en las normas ASTM.
7. El diseño de mezclas del MPAF quedó definido con las siguientes proporciones:

- Óptimo Contenido de Emulsión = 12.6 % (rango entre 13.1 y 12,1%)
- Cantidad de Agua = 6.0 % (en peso de la mezcla de agregados)
- Aditivo = 1.2 % (en peso de la mezcla de agregados)
- Filler (Cemento tipo I) = 0.5 % (en peso de la mezcla de agregados)

Este diseño podrá sufrir ajustes de acuerdo a las condiciones climatológicas propias y al equipamiento empleado en el proceso constructivo de la Obra.

8. La sección típica del pavimento propuesta es la siguiente:



9. El pavimento revestido con MPAF para un metrado referencial de 3.000,00 m<sup>2</sup> (rendimiento diario conservador del Camión-Planta), debido a su practicidad y versatilidad, ofrece reducción en los plazos de ejecución de obra, así como reduce el costo específico del revestimiento en el orden de **69.68 %** con respecto al equivalente al pavimento con MAC. Asimismo, la economía considerando el presupuesto global de pavimentación es de

aproximadamente **27.84 %** del valor tradicional. Estas ventajas económicas pueden ser aún mayores, si se optimizan las condiciones de trabajo y los equipamientos de aplicación alcanzándose el rendimiento diario mínimo de 5.000 m<sup>2</sup> de MPAF colocado.

- 10.** Este estudio demuestra que la alternativa de pavimentación empleando como revestimiento el MPAF en las vías urbanas de bajo tránsito del Asentamiento Humano Las Lomas de Marchan/Pucusana-Lima, presenta ventajas técnicas, económicas y ecológicas; las cuales redundan en la posibilidad de ejecutar mayor número de obras en menor tiempo y con menor inversión.

## VI. RECOMENDACIONES

1. En cumplimiento de la Norma ASTM D 6934, es recomendable que la emulsión asfáltica presente un contenido de asfalto residual  $\geq 62\%$ .
2. Se debe considerar las variaciones de temperatura y humedad ambiental, ya que influencia directamente en el contenido de humedad en formulación, la rotura y cura de la mezcla.
3. No es recomendable aplicar el MPAF si la temperatura ambiente es inferior  $10^{\circ}\text{C}$  o está en descenso.
4. Para el diseño de mezclas del MPAF a ser aplicado en el Asentamiento Humano Las Lomas de MARCHAN/Pucusana-Lima, es aconsejable emplear el agregado de la cantera "Crushing" ubicada en la localidad de Lurín, debido a que cumple con todas las características físico-mecánicas exigidas por las Especificaciones Técnicas Nacionales e Internacionales para garantizar el desempeño del revestimiento en vida de servicio.
5. Como elemento de encuadramiento de la granulometría y garantía de la consistencia de la mezcla de MPAF, se recomienda utilizar como filler Cemento Portland Tipo I (Normal) en proporciones del 0.5 a 1.2 % en peso, lo cual además influirá en la consistencia, ruptura y el curado de la mezcla.
6. Para evitar la alteración de las características originales del ligante emulsionado polimerizado, es necesario que en almacenamiento se recircule constantemente, con el fin de evitar la formación de natas o grumos en la parte superior o asentamientos del producto.
7. Es necesario tener en obra, equipos de laboratorio para poder garantizar a través de los ensayos respectivos la calidad final de la emulsión a emplear

en los trabajos de micropavimentos.

8. Para dar apertura al tránsito, se debe esperar hasta que el MPAF cure, tomándose en consideración los resultados de tiempos de rotura y apertura del ensayo de cohesión en laboratorio, de manera que se eviten daños prematuros en la superficie terminada.
  
9. Debido a la versatilidad de uso práctico, eficiente y de alto rendimiento, así como lo económico que resulta aplicar un MPAF, se debe adoptar este sistema como alternativa técnico-económica de pavimentación para vías de bajo tránsito.
  
10. Se incita a los colegas a diversificar las investigaciones para proponer esta tecnología en otras vías urbanas de bajo tránsito que existen a lo largo del país, y que se promueva las aplicaciones en revestimientos de ciclovías, pasajes urbanos, caminos vecinales, impermeabilización de techos, morteros de albañilería, etc.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Rodrigo Uribe Olivares.** Lechadas asfálticas y Microaglomerados en Frío. Brasil : s.n., 2015. pág. 77 .
2. **Lito Dávila.** Guía para el Diseño de Mezclas Asfálticas Densas Semi-líquidas: Morteros Asfálticos (Slurry Seal) y Micro-pavimentos (Micro-Surfacing). Lima, Perú : s.n., 2008. pág. 20.
3. **Carlos Augusto Costa.** Micro revestimiento Asfáltico á Frio. Brasil : s.n., 2009. pág. 107 págs.
4. **Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.** DNIT ES-035/2005. *Pavimentos Flexíveis – Micro Revestimento Asfáltico a Frio com Emulsão Modificada por Polímero – Especificação de Serviço.* s.l. : Brasil, 2005.
5. **International Slurry Surfacing Association .** Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing. . Estados Unidos. : s.n., 2005.
6. **Ministerio de Fomento de España.** Artículos: 542- Mezclas Bituminosas en Caliente tipo Hormigón Bituminoso y 543 - Mezclas Bituminosas para Capas de Rodadura,. 30 de noviembre de 2015.
7. **Ing. Ulloa Calderón, Andrea.** Programa de Infraestructura de Transporte- PITRA, LanammeUCR/. Costa Rica : Unidad de Investigación, Abril de 2011. Vol. Volumen 2, N. ° 15.
8. **Manual de Utilización de Emulsiones Asfálticas en Carreteras,** Shell-Colombia S.A.,. Colombia : Shell, Octubre de 1992.
9. **DER, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM –,** [ed.]. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA. *Microrrevestimento Asfáltico a Quente, ET-DE-P00/023,* s.l., Brasil : Secretaria de Transportes, Febrero 2006.
10. **Uribe Olivares, Rodrigo .** Lechadas asfálticas y Microaglomerados en Frío. Chile : s.n., 2015.
11. **DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT ES-035/2005.** Pavimentos Flexíveis – Micro

- Revestimiento Asfáltico a Frio com Emulsão Modificada por Polímero – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, Brasil : s.n., 2005.
12. **Ministerio de transportes y comunicaciones.** Viceministerio de transportes. y Provias Nacional. *Soluciones básicas y recuperación de carreteras convencionales. Intervención de carretera Patahuasi - Yauri - Sicuani tramo Yauri – san Genaro (11.36 km).* Perú : MTC.
  13. **Guía para el Diseño de Mezclas Asfálticas Densas Semi-líquidas:** Morteros Asfálticos (Slurry Seal) y Micro-pavimentos (Micro-Surfacing).
  14. **Documento Técnico No. 23 Sanfandila,** Qro, Secretaria de Comunicaciones y Transportes . México : Instituto Mexicano del Transporte, 2001. 23.
  15. **Ing. Yamunaque Miranda, Jorge .** El Asfalto en la Ingeniería Vial. 1998.
  16. **Metodología de la investigación.** [En línea] 07 de 2010. 22.  
<http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.pe/2010/07/poblacion-y-muestra.html>.
  17. **Alfredo Leyton Diego Mendoza.** Clases y tipos de investigación científica. 2012.
  18. **Análisis de datos.** [En línea]  
<http://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Analisis-de-Datos>.

## **ANEXOS**

1. Matriz de consistencia
2. Ensayos de Capacidad de Soporte de la Sub-rasante y la Base Granular
3. Informe de diseño del MPAF

## ANEXO N° 01

### Matriz de consistencia

TÍTULO: “MICROPAVIMENTO: ALTERNATIVA TÉCNICO - ECONÓMICA PARA LA PAVIMENTACIÓN DEL ASENTAMIENTO HUMANO LOMAS DE MARCHAN-PUCUSANA/LIMA”

AUTOR: CORONEL FONSECA, Orlando

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DIMENSIONES	MÉTODO
<p><b>Problema general</b> ¿Es la micropavimentación, la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Determinar si la micropavimentación es la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La micropavimentación es la mejor alternativa técnico – económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan, en Pucusana/Lima</p>	<p>V.I. Micropavimento</p>	<p>Ensayos Análisis de muestras Análisis granulométrico</p>	<p>Aprobados Desaprobados Alta calidad Calidad promedio Baja calidad</p>	<p><b>Método:</b> Investigación científica  <b>Tipo:</b> Aplicada  <b>Población:</b> Asentamiento Humano Lomas de Marchan –</p>
<p><b>Problemas específicos</b> ¿Cómo se resuelven frecuentemente las pavimentaciones de vías urbanas de bajo tránsito, en el Perú?  ¿Con el micropavimento, se disminuye el costo por metro cuadrado de pavimento?  ¿La pavimentación convencional genera dificultad en la construcción e impacto al medio ambiente en los asfaltados rurales de bajo tránsito?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b> Analizar las soluciones existentes de pavimentaciones de vías urbanas de bajo tránsito, en el Perú  Determinar si el micropavimento disminuye el costo por metro cuadrado de pavimento  Determinar el grado de dificultad en la construcción e impacto al medio ambiente en los asfaltados rurales de bajo tránsito que tiene la pavimentación convencional con respecto a la micropavimentación.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b> Las pavimentaciones de vías urbanas de bajo tránsito en el Perú se resuelven mejor con el uso de la micropavimentación  Gracias al micropavimento, los costos por metro cuadrado de pavimentación disminuyen  La micropavimentación es menos dificultosa de usar que la pavimentación que es más convencional pero a la vez más dificultosa en la construcción e impacto al medio ambiente en los asfaltados rurales de bajo tránsito</p>	<p>V.D. Alternativa técnico - económica</p>	<p>Costo por m<sup>2</sup> del pavimento de una vía urbana de bajo tránsito con Carpeta Asfáltica en Caliente de 5 cm de espesor  Costo por m<sup>2</sup> de pavimento de una cancha deportiva con MPA.  Plazo de ejecución del pavimento de un pavimento con MAC de 5 cm de espesor. Plazo de ejecución de un pavimento con MPA de 15 mm de espesor</p>	<p>Costo alto Costo bajo Tiempo corto Tiempo promedio Tiempo largo</p>	<p>Pucusana – Lima, que cuenta con 3200 pobladores y una extensión de 127,026.23 m<sup>2</sup>, ubicado a la altura del Km 58 de la Panamericana Sur en Pucusana – Lima.  <b>Muestra:</b> Calle Independencia, del Asentamiento Humano Lomas de Marchan – Pucusana – Lima, con una extensión de 5040 m<sup>2</sup></p>

## ANEXO N° 02 ENSAYOS DE CBR DE LA SUB-RASANTE Y LA BASE GRANULAR

- SUB RASANTE



**Pavecon**  
Ingenieria y Construccion SAC

### ENSAYOS DE LABORATORIO

#### Análisis Mecánico por Tamizado y Límites de Atterberg

Obra Pavimentación Hecho por : L.J.F  
 Registro LAB-MSR-CI-TF Revisado : O.C.F  
 Estructura Terreno de Fundación Fecha : 05/05/17  
 Ubicación Pucisana Prof: 0.20 - 1.50 m

**Granulometría (MTC E 204)**

Datos de ensayo Humedad Natural  
 Peso Total : 518.8 P.M.H. = 4014.0  
 Peso de fracción : P.M.S. = 3626.0  
 Peso de muestra lavada: % W. = 10.7

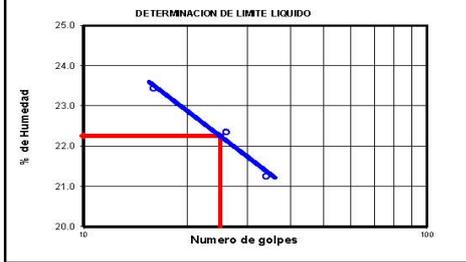
**Límite Líquido MTC E 110**

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes	34	26	16
Recipiente N°	6	22	4
R + Suelo Hum.	26.02	25.32	25.66
R + Suelo Seco	23.91	23.28	23.45
Peso Recip.	13.98	14.15	14.02
Peso Agua	2.11	2.04	2.21
Peso S. Seco	9.93	9.13	9.43
% de Humedad	21.25	22.34	23.44

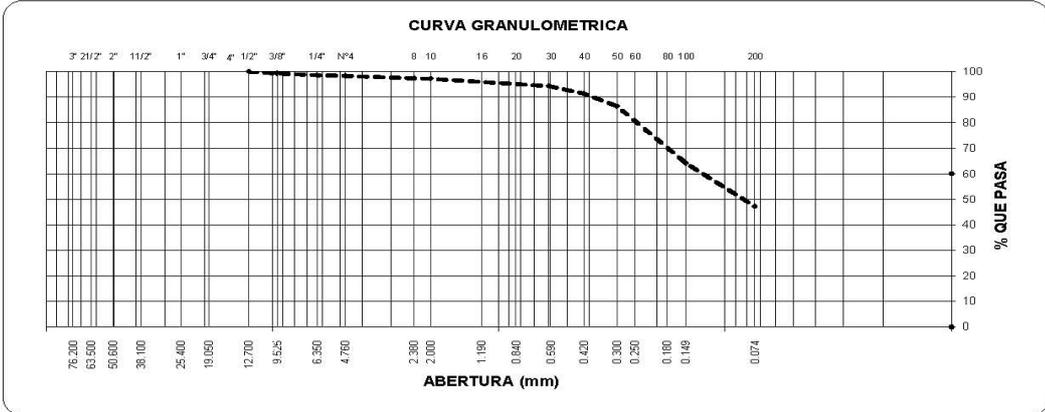
**Límite Plástico MTC E 111**

Ensayo	1	2	
Recipiente N°	1	14	
R + Suelo Hum.	22.29	21.96	
R + Suelo Seco	21.34	21.01	
Peso Recip.	14.26	14.12	
Peso Agua	0.95	0.95	
Peso S. Seco	7.08	6.89	
% de Humedad	13.42	13.79	13.60

Malla	Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% que Pasa	Especificaciones
Tamiz 4"	101.600				
3"	76.200				
2"	50.600				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700			100.0	
3/8"	9.525	3.4	0.7	99.3	
1/4"	6.350	3.6	0.7	98.6	
Nº4	4.760	1.8	0.3	98.3	
8	2.360	4.5	0.9	97.4	
10	2.000	0.9	0.2	97.2	
16	1.190				
20	0.840				
30	0.600	14.8	2.9	5.7	94.3
40	0.420	14.9	2.9	8.6	91.4
50	0.300	26.1	5.0	13.6	86.4
60	0.250				
80	0.180				
100	0.149	115.8	22.3	35.9	64.1
200	0.074	87.5	16.9	52.8	47.2
< 200		245.5	47.3	100.1	



Clasificación SUCS	SC	L.L. : 22.26	Máx.Dens.Seca : 2.028	% C.B.R. al 95 % - 0.1 "	19.9
Clasificación AASHTO	A-4 (2)	I.P. : 8.65	Humedad Óptima 11.2	% C.B.R. al 100 % - 0.1 "	22.5



*Jorge L. Yamunaque Miranda*  
**JORGE L. YAMUNAQUE MIRANDA**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 38744



**ENSAYOS DE LABORATORIO**

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Obra	Pavimentación	Registro	LAB-MSR-C1-TF
Estructura	Terreno de Fundación	Hecho Por	L.J.F
Ubicación	Pucúsana	Revisado Por	O.C.F
Prof: 0.20 - 1.50 m		Fecha	05/05/2017

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

NORMA MTC E-132 (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.028  
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.2

**Compactación**

Molde N°	8	4	6
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	12
Peso suelo + molde (gr.)	12062	11879	11631
Peso molde (gr.)	7274	7329	7308
Peso suelo compactado (gr.)	4788	4550	4323
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2125	2121	2120
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.253	2.145	2.039

**Humedad (%)**

Tara N°			
Tara+suelo húmedo (gr.)	723.0	663.0	572.0
Tara+suelo seco (gr.)	651.0	597.0	514.0
Peso de agua (gr.)	72.0	66.0	58.0
Peso de tara (gr.)			
Peso de suelo seco (gr.)	651.0	597.0	514.0
Humedad (%)	11.1	11.1	11.3
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.029	1.932	1.832

**Aplicación de Carga**

Penetración		CARGA STAND. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Molde 8		Molde 4		Molde 6	
(Pulg.)	(mm.)		Dial	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dial	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dial	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.000	0.00		0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.025	0.64		39	1.9	30	1.5	9	0.4
0.050	1.27		150	7.4	80	3.9	40	2.0
0.075	1.91		300	14.8	200	9.8	90	4.4
0.100	2.54	70.31	330	16.2	320	15.7	143	7.0
0.125	3.18		480	23.6	501	24.6	189	9.3
0.150	3.81		606	29.8	621	30.5	222	10.9
0.200	5.08	105.46	835	41.1	758	37.3	245	12.1
0.300	7.62		1355	66.7	1012	49.8	310	15.2
0.400	10.16			0.0		0.0		0.0

**Expansión:**

Fecha	Expansión (Pulg.)		
	Molde 8	Molde 4	Molde 6
05-05-17	0.000	0.000	0.000
06-05-17	0.008	0.013	0.019
07-05-17	0.012	0.019	0.025
08-05-17	0.015	0.026	0.038
09-05-17	0.019	0.029	0.042
<b>% EXP.</b>	<b>0.42</b>	<b>0.64</b>	<b>0.93</b>

  
**JORGE L. YAMUNAGUE MIRANDA**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 38744



**ENSAYOS DE LABORATORIO**

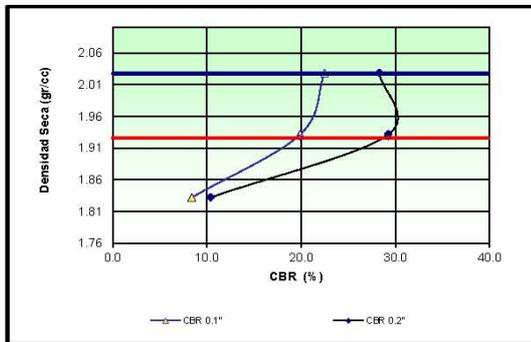
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Obra	Pavimentación	Registro	LAB-MSR-C1-TF
Estructura	Terreno de Fundación	Hecho Por	L. J.F
Ubicación	Pucusana	Revisado Por	O.C.F
Prof. 0.20 - 1.50 m		Fecha	09/05/2017

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

NORMA MTC E-132 (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)

**GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR**



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 22.5	0.2": 28.3
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 19.9	0.2": 29.3

**Datos del Proctor**

Densidad Seca	2.028	gr/cc
Óptima Humedad	11.2	%

**OBSERVACIONES:**

---

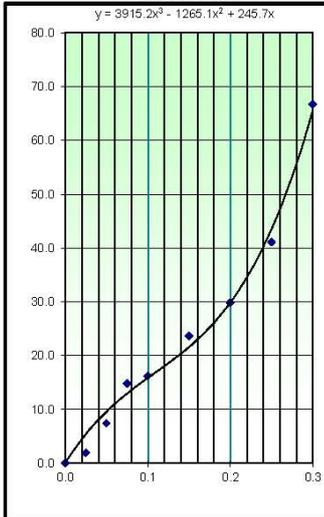


---

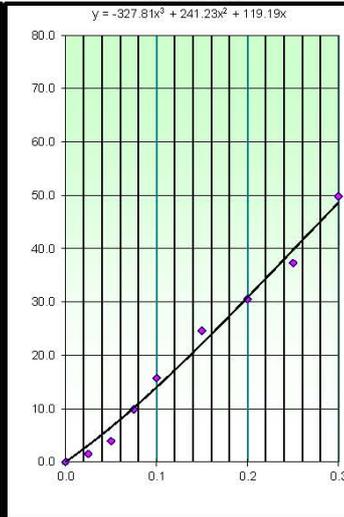


---

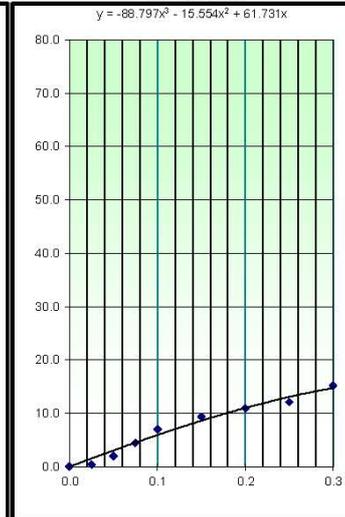
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



*Jorge L. Yamunaque Miranda*  
**JORGE L. YAMUNAQUE MIRANDA**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 38744

• **BASE – GRANULAR**



**Pavecon**  
Ingenieria y Construccion SAC

ENSAYOS DE LABORATORIO

**Análisis Mecánico por Tamizado y Límites de Atterberg**

Obra: Vías Nuevas de Lima  
 Registro: VNL-LAB-B-Crushing-001  
 Material: Base granular  
 Cantera: Crushing - Larin

Hecho por: L.J.F.  
 Revisado: O.C.F.  
 Fecha: 07/07/17

**Límite Líquido MTC E 110**

Ensayo	1	2	3
N° de Golpes			
Recipiente N°			
R + Suelo Hum.			
R + Suelo Seco			
Peso Recip.			
Peso Agua			
Peso S. Seco			
% de Humedad			

NP

**Granulometría (MTC E 204)**

Datos de ensayo  
 Peso Total : 35056.0  
 Peso de fracción : 758.3  
 Peso de muestra lavada: 31406.9

Malla	Tamiz mm.	Peso (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% que Pasa	Especificac. "B"
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800				100.0	100
1 1/2"	38.100	82	0.2	0.2	99.8	
1"	25.400	4670	13.3	13.5	86.5	75 95
3/4"	19.050	3567	10.2	23.7	76.3	
1/2"	12.700	4715	13.4	37.1	62.9	
3/8"	9.525	1832	5.2	42.3	57.7	40 75
1/4"	6.350	2758	7.9	50.2	49.8	
No4	4.750	1437	4.1	54.3	45.7	30 60
8	2.360					
10	2.000	195.2	11.8	66.1	33.9	20 45
16	1.190					
20	0.840					
30	0.600					
40	0.420	232.7	14.0	80.1	19.9	15 30
50	0.300					
60	0.250					
80	0.180					
100	0.149					
200	0.074	157.4	9.5	89.6	10.4	5 15
< 200		173.0	10.4	100.0		

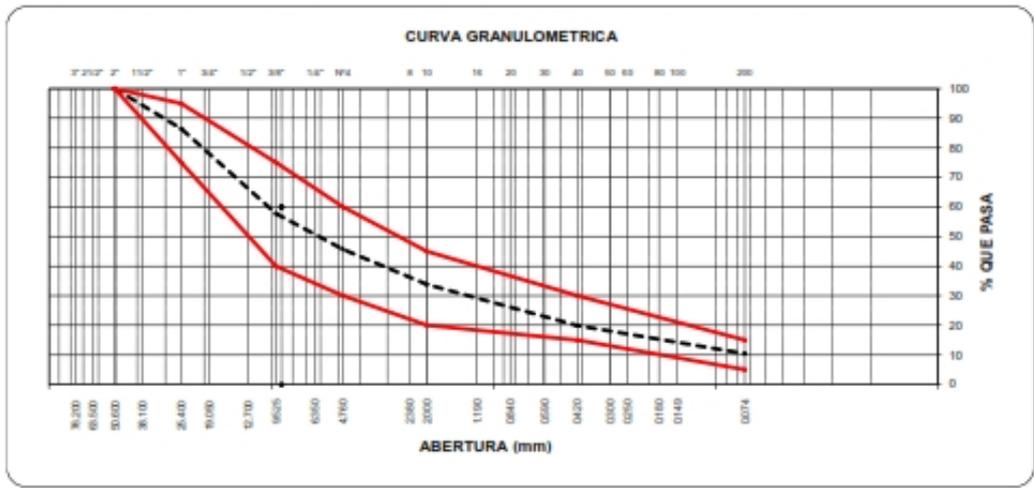
**Límite Plástico MTC E 111**

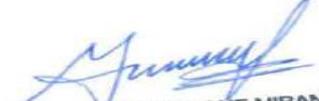
Ensayo	1	2	3
Recipiente N°			
R + Suelo Hum.			
R + Suelo Seco			
Peso Recip.			
Peso Agua			
Peso S. Seco			
% de Humedad			

NP



Clasificación SUCS	GW-GM	L.L. :	NP	Max. Dens. Seca :	2.349	% C.B.R. al 95% - 0.1"	73.5
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	I.P. :	NP	Humedad Optima :	5.6	% C.B.R. al 100% - 0.1"	87.4



  
**JORGE L. YAMUNAQUE MIRANDA**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 38744



**ENSAYOS DE LABORATORIO**

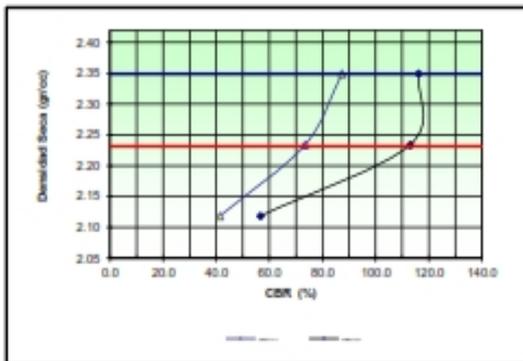
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Oficina	Vías Nuevas de Lima	Registro	IN.LAB-8-Crushing-001
Material	Base granular	C.I.F.	
Cantera	Crushing - Lurin	Revisado Por	D.C.F.
		Fecha	27/07/2017

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

NORMA MTC E-132 (ASTM D-1553 / AASHTO T-193)

**GRAFICO DE PENETRACIÓN DE CBR**



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	6.1": 87.4	6.2": 116.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	6.1": 73.5	6.2": 113.6

<b>Datos del Fractor</b>		
Densidad Seca	2.349	g/cm³
Óptima Humedad	5.6	%

OBSERVACIONES:

**Aplicación de Carga**

Penetración (Pulg.)	CARGA (mm.)	STAND. (Kg/cm²)	Molde 18		Molde 17		Molde 16	
			Dial	Presión (Kg/cm²)	Dial	Presión (Kg/cm²)	Dial	Presión (Kg/cm²)
0.000	0.00		0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.025	0.64		358	17.6	263	13.0	238	11.7
0.050	1.27		629	30.9	472	23.2	375	18.4
0.075	1.91		907	44.6	730	35.9	532	26.2
0.100	2.54	70.31	1310	64.4	1037	51.0	701	34.5
0.150	3.81		1829	90.0	1701	83.7	1010	49.7
0.200	5.08	105.46	2480	122.0	2430	119.5	1315	64.7
0.250	6.35		3222	158.5	3126	153.8	1590	78.2
0.300	7.62		4019	197.7	3715	182.7	1848	90.9
0.400	10.16			0.0		0.0		0.0

**Expansión:**

Fecha	Expansión (Pulg.)		
	Molde 18	Molde 17	Molde 16
07-07-17	0.000	0.000	0.000
08-07-17			
09-07-17	<b>NO EXPANSIVO</b>		
10-07-17			
11-07-17			
% EXP.	0.00	0.00	0.00

*Jorge L. Yamunaque Miranda*  
**JORGE L. YAMUNAQUE MIRANDA**  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 38744



ENSAYOS DE LABORATORIO

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

Obra	Vias Nuevas de Lima		VNL-LAB-B-Crushing-001
Material	Base granular	Hecho Por	L.J.F.
Cartera	Crushing - Lurin	Revisado Por	O.C.F.
		Fecha	07/07/2017

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

NORMA MTG E-132 (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)

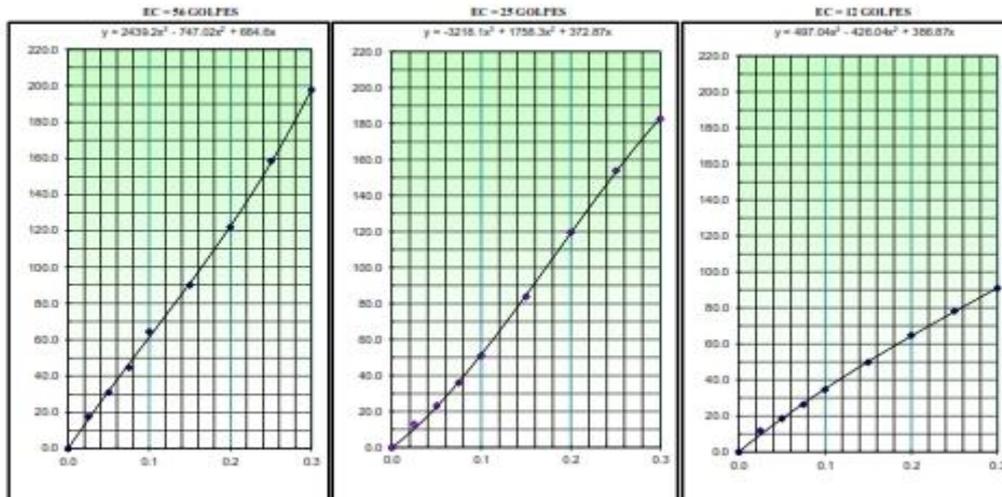
Máxima Densidad Seca ( $gr/cm^3$ ) : 2.349  
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 5.6

**Compactación**

Molde N°	18	17	16
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	12
Peso suelo + molde (gr.)	12514	12255	11980
Peso molde (gr.)	7269	7270	7264
Peso suelo compactado (gr.)	5245	4985	4716
Volumen del molde ( $cm^3$ )	2116	2115	2110
Densidad húmeda ( $gr/cm^3$ )	2.479	2.357	2.235

**Humedad (%)**

Tara N°			
Tara+suelo húmedo (gr.)	866.4	1028.2	967.7
Tara+suelo seco (gr.)	821.2	974.6	917.3
Peso de agua (gr.)	45.2	53.6	50.4
Peso de tara (gr.)			
Peso de suelo seco (gr.)	821.2	974.6	917.3
Humedad (%)	5.5	5.5	5.5
Densidad Seca ( $gr/cm^3$ )	2.350	2.234	2.119



*Jorge L. Yamunaque Miranda*  
**JORGE L. YAMUNAQUE MIRANDA**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. N° 38744

## ANEXO N° 03 Informe de diseño del MPAF



<b>EXPEDIENTE MP.</b>
<b>023-2017-LAB TDM ASFALTOS</b>

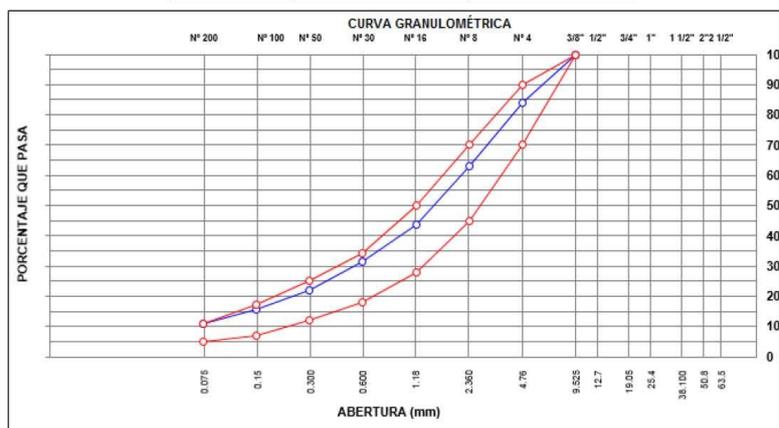
### INFORME DE DISEÑO

Proyecto : ---  
 Solicitante : ODEBRECHT  
 Referencia : Tratamiento Superficial Micropavimento Tipo M-III.  
 Fecha : Lima 19 de Julio del 2017.

#### I. Caracterización de Agregados

Procedencia de la muestra : Arena Chancada – Cant. Crushing  
 Referencia : Formular Micropavimento Tipo M-III.  
 Observaciones : Muestreado y enviado por los interesados.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)			
SERIE	ABERTURA	PASA	TIPO M-III EG-2013
AMERICANA	(mm)	%	
3/8"	9.525	100.0	100
# 4	4.760	84.1	70 - 90
# 8	2.380	62.9	45 - 70
# 16	1.190	43.7	28 - 50
# 30	0.590	31.5	18 - 34
# 50	0.297	22.1	12 - 25
# 100	0.149	15.7	7 - 17
# 200	0.074	11.0	5 - 11
< # 200	<b>(ASTM C-117)</b>	0.0	



ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	MÍNIMO 60%	68%
AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)	MÁX. 8.0 mg/gr	5.0 mg/gr
PESO UNITARIO SUELTO (ASTM C 29)	REPORTAR	1664 kg/m <sup>3</sup>



## II. Características de la Emulsión Asfáltica

Tipo de emulsión : Emulsión Cationica de Rotura Controlada Emultec modificada con polimero CQS-1hp.  
Referencia : MINIPLANTA CQS-1hp

ENSAYO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Residuo Asfáltico	ASTM D 6934	%	62.5	Mínimo 62%
Penetración (25 °C, 100g, 5 seg)	ASTM D 5	dmm	60	40 - 90 dmm

## III. ANÁLISIS DE AGUA

PROCEDENCIA	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	
	PH	DUREZA	PH	DUREZA
POTABLE	( 6 - 8 )	MAXIMO 380 ppm	7.55	276 ppm

## IV. Contenido Teórico de Asfalto

Asfalto teórico en base a la granulometría : 9.7 %  
Emulsión asfáltica teórica calculada : 15.5%

## V. Calidad de Mezcla

A partir del contenido teórico de emulsión y teniendo en cuenta la manejabilidad de la mezcla con el agregado, se fabricaron moldes para someterlos a las pruebas de:

Rueda cargada (ISSA TB 109)  
Abrasión en humedo (ISSA TB 100)

Asfalto Teorico (%)	Emulsion Teorica (%)	Agua (%)	Aditivo (%)	Cemento (%)
9.7	15.5	5.0	1.2	0.5

- El porcentaje de agua que se indica es la añadida al agregado.
- Filler : Cemento .
- Tiempo de mezclado >120 segundos.
- Porcentajes en peso del agregado seco.

## VI. Especificaciones

ENSAYO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN
Tiempo de mezclado	ISSA TB 113	Mínimo 120 seg.
Cohesión húmeda	ISSA TB 139	Mínimo 30 min., 12 kg-cm Mínimo 60 min., 20 kg-cm
Recubrimiento	ISSA TB 114	Mínimo 90%
Desplazamiento Lateral	ISSA TB -147	5% Máximo
WTAT	ISSA TB 100	Máximo 538 g/m2
LWT	ISSA TB 109	Máximo 538 g/m2



**VII. COHESION**

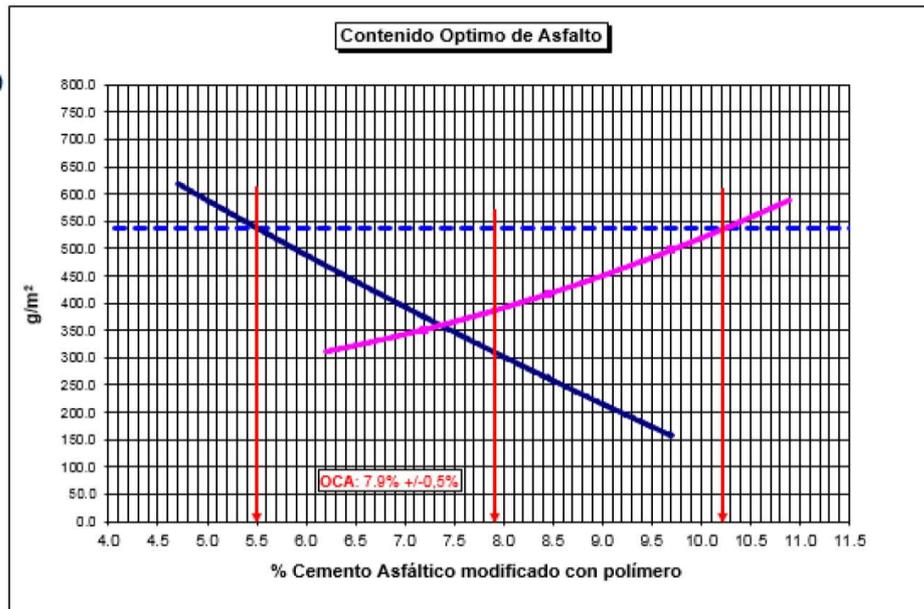
TEMPERATURA LABORATORIO	% ASFALTO	% EMULSIÓN	% AGUA	% ADITIVO	% CEMENTO	TIEMPO DE MEZCLADO (Segundos)	COHESIÓN (kg-cm)	
							30 min	60 min
26°C aprox.	7.9	12.6	6.0	1.2	0.5	>120	18.0	22.0



**VIII. Recubrimiento : mayor a 90%**

**IX. Resultados**

Cemento Asfáltico Mod. con Polímero	Emulsión (%)	WTAT (g/m <sup>2</sup> )	LWT (g/m <sup>2</sup> )
7.2	11.5	374.3	351.9
8.5	13.5	262.4	416.7
<b>9.7</b>	15.5	157.4	497.2





#### X. Conclusiones

Diseño de Micropavimento TIPO M-III.

- |   |   |       |
|---|---|-------|
| • Cantidad óptima de emulsión asfáltica CQS-1hp<br>(Rango de tasa de aplicación: 11.8 % a 13.4 %) | : | 12.6% |
| • Cantidad de agua .  | : | 6.0%  |
| • Aditivo (Con respecto a la cantidad de agua)  | : | 1.2 % |
| • Cantidad de filler (Cemento sol tipo I)   | : | 0.5%  |

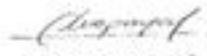
**Note 1.** Muestra identificada y muestreada por el solicitante.

**Note 2.** El agregado encaja en la gradación TIPO M-III, de la especificación EG-2013.

**Note 3.** La gradación de material esta diseñado para una aplicación mínima de 10 mm de espesor.

**Note 4.** Se recomienda realizar los ensayos faltantes que exige la especificación EG-2013.

**Note 5.** Este diseño podrá sufrir cambios de acuerdo a las condiciones climatológicas y al proceso constructivo al momento de la ejecución de obra, el cual será ajustado en la primera semana de ejecución de los trabajos.

  
Hector Huapaya N.  
Laboratorista

  
Wendy Herencia  
Jefe del Area Técnica

Fecha de emisión: Lurín 27 de Julio del 2017



XI. Panel Fotografico

CANT. CRUSHING – ARENA CHANCADA





Expediente MP.
023-2017-LAB TDM ASFALTOS

Proyecto  
Solicitante : ODEBRECHT  
Referencia : DISEÑO 023-2017 MICROPAVIMENTO TIPO M-III

Prueba	Peso seco	Peso húmedo	Peso después del Ensayo de Abrasión	Peso después del Ensayo de Adherencia 30 min. ebullición	Peso sat. seco después del Ensayo de Adherencia	Absorción %	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
1	42.56	43.64	43.22	43.25	42.32	2.54	0.42	96.98	99.11
2	42.62	43.75	43.34	43.18	42.28	2.65	0.41	96.64	98.70
3	41.93	43.05	42.63	42.20	41.67	2.67	0.42	96.79	98.03
4	41.89	42.94	42.49	41.84	41.39	2.51	0.45	96.39	97.44
5	41.59	42.64	42.26	41.66	41.17	2.52	0.38	96.55	97.70
6	41.96	43.06	42.74	42.17	41.68	2.62	0.32	96.80	97.93
7	41.90	43.02	42.58	41.94	41.33	2.67	0.44	96.07	97.49
8	41.88	42.95	42.52	42.19	41.54	2.55	0.43	96.72	98.23
Promedio	42.04	43.13	42.72	42.30	41.67	2.59	0.41	96.62	98.08

	Abrasión gramos	Adhesión %	Integridad %
	0.41	96.62	98.08
Puntaje	4	4	4
Grado	A	A	A

Criterio para clasificación

Grado Ensayo	Puntaje Ensayo	Pérdida de Abrasión, gramos	Adhesión 30 min. ebullición % cubierto	Integridad 30 min. ebullición % retenido
A	4	0.0 - 0.7	90 - 100	90 - 100
B	3	0.7 - 1.0	75 - 90	75 - 90
C	2	1.0 - 1.3	50 - 75	50 - 75
D	1	1.3 - 2.0	10 - 50	10 - 50
0	0	2.0 +	0	0

PUNTAJE TOTAL	ESPECIFICACIÓN
12	MÍNIMO 11 (AAA, BAA)

DESPUÉS DE LA PRUEBA DEL HERVIDO



Observaciones

- Para esta prueba se usó 0,5% de Cemento Portland Tipo I.

Manuel Coronado López  
Laboratorista

Ing. Wendy Herencia  
Jefe del Area Técnica

Fecha de Emisión: Lima, 03 de agosto del 2017  
EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO



# EMULTEC CQS-1HP

EMULSIÓN CATIONICA DE RUPTURA CONTROLADA CON POLIMERO

INFORME DE ENSAYO N° 091-2017-TDM ASFALTOS-LAB DISEÑO

GUIA TDM ASFALTOS :  
CLIENTE: ODEBRECHT

REFERENCIAS: EXPEDIENTE MP. 023 - 2017 - LAB TDM ASFALTOS.  
TANQUE: MOLINO LAB. CINTILLO DE SEGURIDAD N°: -----  
LOTE DE PRODUCCIÓN: -----  
CANTIDAD: 3.0 KILOGRAMOS -----  
FECHA DE PRODUCCIÓN: 21/07/2017 -----

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °C	D 7496	ssf	20	100	42
RESIDUO POR EVAPORACION	D 6934	%	62	--	62.5
SEDIMENTACION A LOS 7 DIAS	D 6930	%	--	5	1.4
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 6933	%	--	0.1	0.00
CARGA DE PARTÍCULA	D 7402		POSITIVA		POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	50	90	60
DUCTILIDAD, 5°C, 5 cm/min	D 113	cm	10	--	21.5
RECUPERACION ELASTICA LINEAL, 25°C, 20 cm	D 6084	%	30	--	32.2

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones de calidad MTC-EG-2013  
Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada  
PE:1.00

Original: Cliente  
Copia 1: Área Técnica  
Copia 2: Producción  
Copia 3: Laboratorio

  
Hector Huapaya N.  
Laboratorista

  
Wendy Herencia  
Jefe del área técnica

Fecha de Emisión : Lima, 27 de julio del 2017

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

ASF-R-TEC-120.V01