



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica  
en caliente, Trujillo 2018”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO(A) CIVIL**

**AUTORES:**

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

**ASESOR:**

Ing. Horna Araujo, Luis Alberto

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de infraestructura vial

Trujillo - Perú

2018

## **DEDICATORIA**

A mis padres Luis Pinedo y Esmeria Diaz, gracias a su apoyo inmutable en todos los sentidos de mi vida, la confianza brinda, consejos concedidos, trabajo y mucho esfuerzo. A mis hermanos Yorvin, Juliana y Greisi Pinedo a quienes los agradezco por todo su apoyo y por seguir conmigo. A mis abuelos y tíos que me han dado la fuerza para seguir adelante.

A mi hijo y mi futura familia, que me incentivan a ser mejor profesional.

A Dios por guiarme y ayudarme a lograr mis objetivos, cumplir esta meta y apoyar a mi familia siempre.

Diana P. D.

A mis padres quienes con su apoyo incondicional tanto moral y económico, fueron parte de este logro; José Vaca y Teonila Lopez, además a mis hermanos por su confianza y cariño y aquellas personas especiales en mi vida que me ayudaron a culminar con éxito esta meta.

A Dios por darme la fuerza necesaria para cumplir mis metas y a todos mis docentes que formaron parte de mi vida profesional.

Renson V. L.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darnos la salud, la fortaleza y la sabiduría cada día; permitiéndonos así terminar una de nuestras metas.

A nuestros familiares, quienes nos brindan su apoyo moral y económico, convirtiéndose en un pilar fundamental en el transcurso de la carrera y nuestra vida.

A nuestros amigos, por el tiempo compartido, apoyo brindado en todo momento.

A nuestros docentes de la escuela de ingeniería civil quienes nos formaron académicamente, a nuestro jurado de tesis Ing. Alan Valdivieso, Ing. Marlon Farfán, Ing. Luis Horna, por la orientación y colaboración para el desarrollo de esta tesis.

A nuestros profesores de las instituciones educativas primaria y secundaria quienes nos formaron y nos dieron alas para seguir adelante.

A la Universidad César Vallejo, por la oportunidad que nos brinda, de hacer realidad una de nuestras más grandes metas; ser Ingeniero Civil.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
RESUMEN .....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Trabajos previos .....	15
1.3. Teoría relacionada al tema .....	21
1.3.1. Pavimento flexible .....	21
1.3.2. Tipo fallas en un pavimento flexible .....	23
1.3.3. Diseño de pavimento flexible .....	26
1.3.4. Mezcla asfáltica .....	26
1.3.4.1. Características de la mezcla asfáltica .....	26
1.3.4.2. Tipos de mezcla asfáltica.....	27
1.3.5. Asfalto.....	28
1.3.6. Ensayos para el asfalto.....	29
1.3.7. Materiales de una mezcla asfáltica. ....	30
1.3.7.1. Cemento asfáltico .....	30
1.3.7.2. Fibra de polipropileno .....	31
1.3.7.3. Agregados .....	31
1.3.8. Ensayo para los agregados .....	33
1.3.8.1. Requerimiento para el Agregado grueso .....	33
1.3.8.2. Requerimiento para el Agregado fino .....	36
1.3.9. Ensayos realizados a mezcla asfáltica .....	37
1.3.9.1. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall: ...	37
1.3.9.2. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste:.....	39
1.4. Formulación del problema .....	39
1.5. Justificación del estudio .....	39
1.6. Hipótesis.....	40
1.7. Objetivos .....	41

1.7.1.	Objetivo General.....	41
1.7.2.	Objetivos Específicos .....	41
II.	MÉTODO .....	42
2.1.	Diseño de investigación .....	42
2.2.	Variables, Operalización.....	43
2.3.	Población y Muestra.....	44
2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	44
2.5.	Métodos de Análisis de Datos.....	45
2.6.	Aspectos Éticos .....	45
III.	RESULTADOS .....	46
3.1.	Características de investigación.....	46
3.2.	Evaluación y recolección de componentes .....	46
3.3.	Ensayo de los agregados .....	47
3.3.1.	Análisis granulométrico .....	47
3.3.2.	Peso específico y absorción agregado grueso.....	49
3.3.3.	Ensayo de abrasión de ángeles .....	51
3.3.4.	Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio) .....	52
3.3.5.	Porcentaje de caras fracturadas agregado grueso .....	54
3.3.6.	Sales solubles totales agregado grueso y fino.....	56
3.3.7.	Partículas chatas y alargadas .....	57
3.3.8.	Índice de plasticidad (malla N° 40 y 200) .....	59
3.3.9.	Equivalente de arena .....	60
3.3.10.	Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	61
3.3.11.	Angularidad del agregado fino.....	62
3.4.	Contenido óptimo de asfalto diseño teórico.....	62
3.5.	Diseño Marshall mezcla asfáltica tradicional .....	63
3.5.1.	Elaboración de especímenes .....	63
3.5.2.	Determinación del peso específico aparente y peso unitario (densidad Bulk) .....	64
3.5.3.	Especímenes cubiertos sin parafina. ....	64
3.5.4.	Especímenes saturados con superficie seca (sin recubriendo de parafina)....	65
3.5.5.	Especímenes secos .....	66
3.5.6.	Especímenes sin recubrimiento de parafina y con dimensiones uniformes ..	67
3.5.7.	Peso específico teórico máximo (RICE).....	67
3.5.8.	Calculo del Porcentaje de vacíos de aire .....	68

3.5.9.	Porcentaje de vacíos de agregados .....	68
3.5.10.	Volumen efectivo del asfalto .....	68
3.5.11.	Ensayo de estabilidad y flujo .....	68
3.5.12.	Materiales y dosificación para la fabricación de mezcla asfáltica .....	69
3.6.	Diseño Marshall mezcla asfáltica modificada con fibra de polipropileno .....	77
3.7.	Pérdida por desgaste .....	84
3.8.	Comparación estadística de las mezclas asfálticas. ....	86
IV.	DISCUSIÓN .....	92
V.	CONCLUSIONES .....	95
VI.	RECOMENDACIONES .....	96
	REFERENCIAS .....	97
	ANEXOS .....	103

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Selección de tipo de cemento asfáltico .....	31
Cuadro 2: Ensayos de agregado grueso .....	33
Cuadro 3: Masa de carga según gradación .....	34
Cuadro 4: Ensayos de agregado fino .....	36
Cuadro 5: Variables de Operalización.....	43
Cuadro 6: Obtención de muestra para ensayo .....	47
Cuadro 7: Parámetros de cumplimiento para mezcla asfáltica .....	48
Cuadro 8: Porcentajes que pasan de los agregados gruesos y finos. ....	48
Cuadro 9: Muestra mínima para ensayo .....	49
Cuadro 10: Resultado de ensayo de peso específico y absorción agregado grueso .....	50
Cuadro 11: Máximo porcentaje de absorción.....	50
Cuadro 12: Selección de método .....	51
Cuadro 13: Muestra mínima para ensayo para agregado grueso. ....	52
Cuadro 14: Muestra para durabilidad al sulfato de sodio .....	53
Cuadro 15: Resultados Durabilidad al sulfato de sodio para agregado grueso .....	53
Cuadro 16: Resultado durabilidad al sulfato de sodio para agregado fino .....	53
Cuadro 17: Porcentaje máximo de durabilidad para agregado grueso .....	54
Cuadro 18: Porcentaje máximo de durabilidad para agregado fino .....	54
Cuadro 19: Cantidad de muestra para ensayo.....	55
Cuadro 20: Porcentajes mínimos de caras fracturadas .....	55
Cuadro 21: Resultado Caras fracturadas.....	55
Cuadro 22: Resultado Caras fracturadas.....	56
Cuadro 23: Muestra requerida para ensayo .....	56
Cuadro 24: Porcentaje máximo permitido (sales solubles) .....	57
Cuadro 25: Resultado ensayo sales solubles .....	57
Cuadro 26: Resultado ensayo sales solubles .....	57
Cuadro 27: Obtención de muestra de ensayo .....	58
Cuadro 28: Máximo porcentaje de alargadas y chatas .....	58
Cuadro 29: Máximo porcentaje de alargadas y chatas .....	58
Cuadro 30: Resultado de ensayo.....	59
Cuadro 31: Resultado índice de plasticidad.....	59

Cuadro 32: Porcentajes mínimos para Equivalente de arena.....	60
Cuadro 33: Resultado equivalente de arena.....	60
Cuadro 34: Absorción y gravedad específica .....	61
Cuadro 35: Resultado Absorción y gravedad específica .....	61
Cuadro 36: Angularidad de finos valores mínimos .....	62
Cuadro 37: Resultado de ensayo de angularidad.....	62
Cuadro 38: Dosificación para mezcla convencional .....	69
Cuadro 39: Diseño de mezcla convencional con 4.5% de C.A. ....	70
Cuadro 40: Diseño de mezcla convencional con 5.0 % de C.A. ....	71
Cuadro 41: Diseño de mezcla convencional con 5.5 % de C.A. ....	72
Cuadro 42: Diseño de mezcla convencional con 6.0 % de C.A. ....	73
Cuadro 43: Resultados ensayo Marshall.....	76
Cuadro 44: Dosificación para mezcla modificada .....	77
Cuadro 45: Diseño de mezcla modificada con 0.5 % de fibra de polipropileno .....	78
Cuadro 46. Diseño de mezcla modificada con 1.5 % de fibra de polipropileno .....	79
Cuadro 47: Diseño de mezcla modificada con 2.5 % de fibra de polipropileno .....	80
Cuadro 48: Resultado ensayo Marshall .....	83
Cuadro 49: Resultado pérdida por desgaste .....	85



## RESUMEN

Esta investigación consistió en un análisis experimental de una mezcla asfáltica en caliente modificada con fibra de polipropileno, buscando mejorar su comportamiento ante los efectos del tránsito. Se evaluó el efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente y para ello se realizaron ensayos de cántabro (pérdida por desgaste), estabilidad y flujo. Los materiales utilizados para la mezcla fueron, cemento asfáltico PEN 60/70 de la planta “Asfaltos Company Vial S.A.C” y agregados obtenidos de la cantera San Martín, provincia de Ascope, La Libertad a los cuales se les realizó una serie de ensayos de laboratorio. Los porcentajes de granulometría para la mezcla asfáltica fue 48% de agregado grueso, 50% de agregado fino, 2% de cal hidráulica y cemento asfáltico PEN 60/70 (4.5, 5.0, 5.5, 6.0 %), el diseño de la mezcla se realizó a través de la metodología Marshall en la ciudad de Trujillo. Los resultados que se obtuvieron de la evaluación de los especímenes de acuerdo al MTC E 504, fue un 5.3 % de cemento asfáltico óptimo y una estabilidad de 1215 kg con un flujo de 3.35 mm, por otro lado, en mezcla modificada con 0.5, 1.5, 2.5 % de fibra de polipropileno, se obtuvieron estabilidades de 1154, 1271, 1141 kg y flujo de 2.95, 3.19, 3.46 mm por cada porcentaje de fibra, siendo la estabilidad adecuada obtenida de la curva de 1270 kg y un flujo de 3.16 mm con un porcentaje óptimo de fibra de 1.4 %. Los resultados obtenidos del ensayo MTC E 515, la pérdida por desgaste para los grupos experimentales con 0.5, 1.5, 2.5 % de fibra de polipropileno resultó 3.17, 3.04, 3.36 % respectivamente y 4.0 % para el grupo control. En esta investigación se concluyó que la mezcla modificada con 1.5% de fibra de polipropileno presenta menor pérdida por desgaste.

Palabras clave: Diseño Marshall, mezcla asfáltica modificada, fibra de polipropileno, pérdida por desgaste.

## ABSTRACT

This investigation consisted in an experimental analysis of a hot mix asphalt, modified with polypropylene fiber, searching for the improvement of its performance before the effects of vehicular traffic. It was evaluated the effect of polypropylene fiber in hot mix asphalt, on this basis several Cantabrian tests were performed (wear and tear), stability and flow. The materials used for the mixture were asphalt cement PEN 60/70 from “Asphalts Company Vial S.A.C” and aggregates quarry from San Martín Quarry in the province of Ascope, department of La Libertad; several tests were performed in a laboratory on the materials used for the mixture. The percentages of aggregates for the asphalt mixture were 48% of coarse aggregate, 50% of fine aggregate, 2% hydrated lime and asphaltic cement PEN 60/70 (4.5, 5.0, 5.5, 6.0 %), the design of the mixture was made through The Marshall methodology in Trujillo city. The results obtained from the evaluation of the specimens according to the Ministry of Transport and Communications E504 were 5.3% of optimal asphalt cement and a stability of 1215 kilograms and a flow of 3.35mm, besides that, in modified mixture with 0.5, 1.5, 2.5% of polypropylene fiber, stability of 1154, 1271, 1241 kilograms and flow of 2.95, 3.19, 3.46mm for each fiber percentage were obtained, in that sense, the stability obtained from the curve of 1270 kilograms and a flow of 3.16mm with an optimal percentage of fiber of 1.4% was appropriate. The results obtained from the test Ministry of transport and Communication E 515, the loss by wear for the experimental groups 0.5, 1.5, 2.5% of polypropylene fiber was 3.17, 3.04, 3.36% respectively and 4.0% for the control group. This investigation concluded that the modified mixture with 1.5% of polypropylene fiber presents less wear and tear.

**Key words:** Marshall design, modified asphalt mix, polypropylene fiber, wear and tear.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los países más desarrollados son aquellos que presentan casi la totalidad de su red vial pavimentada, permitiendo a los usuarios crecer económicamente. A nivel mundial existen más de 36 millones de kilómetros de vías, el primer lugar lo ocupa Estados Unidos, con 6.6 M de Km al año 2012, la India con 4.7 M de Km, China con 4.6 M de Km y Rusia tiene aproximadamente 1.3 M de Km al 2014; de estas vías de transporte la gran mayoría es de pavimento flexible, lo que implica de una gran inversión en cuidado y mantenimiento de estas obras (Índex Mundi, 2015).

El Perú es un país que se está desarrollando mucho en las últimas décadas, la accesibilidad a los distintos lugares se hace cada vez mayor, aportando al crecimiento económico. Es por ello la necesidad de tener vías de transportes pavimentadas en buen estado, para que garantice la comodidad y seguridad de los usuarios. Esta necesidad se traduce en una obligación del estado peruano en mantener en óptimas condiciones la red vial nacional haciendo un seguimiento extenuante del pavimento y diseño de estrategias para optimizar acciones de mantenimiento.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) está a cargo de la categorización vial. En el país existen aproximadamente 166,114 kilómetros de carreteras, clasificadas en: carreteras de la red vial nacional con 26,436 Km, carreteras de la red vial departamental con 25.012 Km y carreteras de la red vial vecinal con 114,665 Km. La red nacional tiene un 69,7 % de sus carreteras pavimentadas, así como la red departamental un 9,7 % y la red vecinal 1.7%. (PROVIAS, 2016)

El departamento La Libertad tiene una gran cantidad de vías de comunicación esto se debe a una gran actividad minera y agroindustrial que posee. Sin embargo, muchas de las vías de comunicación necesitan mantenimiento, mayor cuidado y en otras existen muchos kilómetros de carreteras importantes por pavimentar. La construcción de pavimentos en la región ha ido aumentando debido al incremento

del parque automotor el cual utiliza las vías. Los pavimentos de la red vial del departamento están deteriorados en un gran porcentaje, lo que genera inseguridad y malestar en los usuarios. Por ejemplo, podemos mencionar el desgaste de llantas, la demora en los tiempos de llegada, etcétera.

En La Libertad, hasta el año 2015 se tenía 7% de carteras pavimentadas, debido a la necesidad y la exigencia de la población aumentó a 22% hasta marzo del 2017, pero la meta plantada para el 2018 por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) será llegar a un 46 o 48% del total de la red vial. Para mejorar 660.40 Km de carretera con pavimento económico es necesario 115 millones de soles que son gestionados por el gobernador regional Luis Valdez al gobierno central, estos 660.40 Km relaciona 10 provincias de la región, (Gobierno Regional La Libertad, 2017).

En las ciudades las vías asfaltadas están en muy mal estado como es el caso de Trujillo. En esta ciudad, las avenidas y calles principales asfaltadas no ofrecen la seguridad ni la comodidad necesaria a los usuarios, en la mayoría de casos el asfalto está dañado, considerando los efectos del Fenómeno del Niño más el mal mantenimiento y poco cuidado de los pavimentos que son un gran problema para la población; y en la busca de mejorar la calidad de los pavimentos flexibles o rígidos con aditivos o con otro tipo de materiales se ha ido implantando de muchas maneras en cual se busca aumentar las resistencias al tráfico pesado.

## **1.2. Trabajos previos**

Mejía y Sierra (2017), en su investigación titulada “Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso de estudio universidades de Bogotá D.C.”, planteo como objetivo identificar y caracterizar las investigaciones realizadas de variaciones de asfaltos en las universidades de la ciudad de Bogotá durante los últimos 10 años. En esta investigación se analizaron proyectos con materiales parecidos con el fin de determinar las posibles mejoras de cada uno de los aditivos, sus desventajas y ventajas, así como su posible suministro en las estructuras de pavimento. Los ensayos realizados en Colombia para dichos estudios

son: resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los Ángeles, resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”) por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles, ensayo de ductilidad de los materiales asfálticos, ensayo de determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional, ensayo de estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall, caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste. El resultado obtenido de la relación cemento asfáltico % vs. E/F (Kg/mm), se obtuvo que la mezcla con adición de 0,2% de polipropileno sometidos al laboratorio Marshall presenta una estabilidad/flujo de 1,169.01kg/mm, en cambio la mezcla con 5% de PEBD la relación estabilidad/flujo es de 452.72 kg/mm; ambas modificaciones con un porcentaje de cemento asfáltico de 5% y concluyó que a medida que aumenta el cemento asfáltico disminuye la estabilidad/flujo.

Landinez, Restrepo y Lázaro (2017) en su tesis denominada “análisis físico-mecánico de mezclas densas en caliente MDC-19 con adición de tiras de geotextil de 1 cm”, la misma que tuvo como objetivo analizar el comportamiento físico – mecánico\*de la mezcla densa en caliente MDC – 19 modificada con tiras de geotextil no tejido 1600, una vez que los agregados cumplieron con los parámetros establecidos en la INVIAS, procedieron a realizar el ensayo Marshall con un cemento asfáltico de 60 -70. Realizo 20 especímenes para 4% de asfalto (4.5%, 5%, 5.5% y 6%), compactadas a 75 golpes, obteniendo un porcentaje óptimo de C.A de 4.5% y la mezcla modificada para el ensayo pérdida por desgaste se realizó con el 5% de C.A. y geotextil con 1.25%, 1.0%, 0.5% y 0.25%, para ello se realizaron 5 especímenes, para cada porcentaje, los resultados obtenidos fueron que el 0,5% de adición de geotextil presenta menor desgaste y el 1% presenta mayor desprendimiento de mezcla. Concluyó que en comparación con la mezcla convencional y la modificada con 0.5% de geotextil presenta menor pérdida por desgaste.

Curo y Lizárraga (2017), en su tesis “Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas y parámetros volumétricos de un concreto asfáltico con partículas de polipropileno en porcentajes variables en función al peso de la mezcla asfáltica, elaborado con los agregados de la región del cusco, cemento asfáltico de tipo convencional PEN 85-100 con filler respecto a un mezcla asfáltica tradicional”, planteo como objetivo estudiar comparativamente las propiedades físico-mecánicas y medidas volumétricas de un concreto asfáltico tradicional frente a un concreto asfáltico modificado con partículas de polipropileno, mediante ensayos físico-mecánicos (resistencia de mezcla bituminosa y resistencia de mezcla asfáltica compactadas al daño inducido por humedad). El diseño de la mezcla se realizó con materiales pétreos, filler, cemento asfáltico y adicionalmente se utilizó partículas de polipropileno; mediante el método Marshall se determinó el contenido óptimo de cemento asfáltico considerando ocho porcentajes 3%, 3.5%, 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% con respecto al peso de la mezcla, luego se agregó partículas de polipropileno a 0.5%, 1%, 1.5% y 2% respecto al peso de la mezcla. Logro determinar que con el 2% de fibra había mejorado las propiedades físico-mecánicas, respecto a una mezcla asfáltica en caliente tradicional, y concluyó que al aumentar el polipropileno aumenta las propiedades físico-mecánicas.

Vanegas (2016), en su tesis “Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras de polipropileno” planteó como objetivo caracterizar el comportamiento de una mezcla asfáltica con fibras y diferentes porcentajes a través del módulo dinámico de los materiales y un ensayo de fatiga a tensión – compresión. En esta investigación se realizó el tamizado del material pétreo; para luego realizar la mezcla con el asfalto y el % de fibra de 0.05%, 0.10% y 0.15% el diseño de mezcla fue con 6.38% de asfalto óptimo y una gravedad específica Bulk de 2.20, lo cual produjo 4% de vacíos en la mezcla. Los resultados encontrados fueron un aumento en módulo dinámico en un 14% en la adición de 0.05%, 22% en la adición de 0.10% y 9% con la adición de 0.15% del peso de la fibra de polipropileno, por otro lado, los resultados del ensayo de fatiga a tensión – compresión tenemos que 0.05% de adición presenta una falla a una deformación unitaria de 120 u, el 0.10% presenta una falla 200 u y el 0.15% presenta una falla a 90 u de fibra con esto se llegó a concluir que hubo un aumento en módulo dinámico

de la mezcla; en el ensayo fatiga se concluyó que la mezcla con 0.10 de polipropileno resistió mayor deformación antes de la ruptura que fue 200 u.

Jiménez (2016), en su tesis “Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional”, el objetivo de la investigación fue establecer el comportamiento a la deformación de un pavimento con fibras celulósicas y uno tradicional, donde realizaron 3 briquetas por cada pavimento asfáltico (5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%) según el método Marshall y para cada mezcla asfáltica con fibras de celulosa se elaboraron 3 briquetas en un equivalente al 0.3% del peso de los agregados. Concluyeron que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico fue 6.76%, y a medida que aumenta el cemento asfáltico disminuye la deformación en el pavimento tradicional superando en 6% a un pavimento con fibras; por lo tanto, un pavimento con fibras celulósicas no alcanza la estabilidad de un pavimento tradicional, pero en flujo son similares y el pavimento con fibras es 3.1% más costoso que un pavimento tradicional.

Benavides (2014), en su estudio titulado “Pavimentos ecológicos: Mejoramiento de las propiedades de una mezcla densa en caliente (MDC-2) modificada con desechos plástico”, planteó como objetivo determinar la influencia de los residuos plásticos en una mezcla asfáltica densa en caliente con respecto a sus propiedades físico - mecánicas. La investigación se realizó mediante la metodología de Marshall y ensayos complementarios como granulometría, peso específico, contenido de humedad y el huso granulométrico, para evaluar su uso en el diseño y construcción del pavimento flexible, para realizar el diseño y construcción de pavimento. El método de diseño empleado es la metodología y Marshall, se utilizaron 7 porcentajes de plástico PED Y PEAD Y 5 porcentajes de PED-PEAD con el que se determinó con mayor precisión el porcentaje óptimo gracias a una curva, para la elaboración de briquetas cilíndricas de diámetro 64 mm y 112 mm de longitud. La dosificación utilizada para un total de 4000 gramos de mezcla con 5.5% de asfalto y se utilizó el porcentaje de plástico previamente diseñado. Concluyendo que el porcentaje óptimo de residuos plásticos es de 0.5% de PEAD; también observó que mientras más aumenta el porcentaje de plástico PET, la estabilidad llega a un punto máximo con un 0.5% y empieza a decaer cuando supera 0.8%.

Preciado y Sierra (2013), en su tesis “Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas SMA”, tuvieron como objetivo comparar el comportamiento mecánico de mezclas SMA y fibras de desechos industriales. Para la prueba de tracción indirecta susceptibilidad a la humedad (INV E-725.07), realizaron la mezcla SMA con la fibra estabilizadora donde 3 especímenes lo probaron en seco y 3 después de una saturación parcial, para el ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo de resiliencia de la mezcla (INV E-749.07), elaboraron 3 especímenes de cada mezcla SMA y se sometieron a distintas cargas, temperaturas y frecuencias, para probar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas mediante el ensayo (INV E-756.07), se realiza un espécimen de 30x30x5 cm de la mezcla SMA con su respectiva fibra estabilizadora y es sometida al paso de una rueda en distintas condiciones.

De esto se obtuvieron como resultado que para la prueba (INV E-725.07) donde dice que la relación de resistencia seca y húmedas deben ser superiores al 80%, del cual la mezcla SMA con fibra de polipropileno obtuvo 87.67%, con coco 83.48 % y celulosa 81.11%. Para el ensayo (INV E-749.07) el mayor módulo Resiliente en la mezcla lo presenta la mezcla SMA con celulosa en un 26% con respecto a la fibra de coco y 37 % de la fibra de polipropileno. Para el ensayo (INV E-756.07) obtuvieron que la mezcla SMA con fibras de polipropileno obtuvo la menor velocidad de deformación en un intervalo de 105 – 120 min con una velocidad de 7  $\mu\text{m}/\text{min}$ . Los investigadores concluyeron que para controlar el escurrimiento de dicha mezcla se debe emplear 0.05% sobre el peso de la mezcla ya sea de polipropileno o de coco, para garantizar que el escurrimiento del asfalto está en los parámetros, también se observa que de las fibras de celulosa, polipropileno y coco utilizadas, la fibra de celulosa tiene mayor capacidad de inhibir el escurrimiento, también concluyeron que las fibras desechas en procesos industriales alteran las propiedades mecánicas de las mezcla SMA; sin embargo, los resultados están aptas para emplearse ya que está dentro de las especificaciones requeridas en Colombia.



Burbano (2012), en su tesis “Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico modificado y normal, a través del método Marshall, empleando agregados pétreos y asfalto”, planteo como objetivo comparar y determinar el contenido óptimo de ligante asfáltico para una mezcla densa en caliente con asfalto modificado con fibras de polipropileno y asfalto normal. En esta investigación para el diseño Marshall modificado con asfalto se realizaron 3 especímenes por cada contenido de polipropileno. El estudio se realizó para ver el contenido óptimo de ligante asfáltico con adición de fibras para realizar una comparación de la estabilidad, el flujo; el polipropileno se incrementa de 0.2%, 0.4% y 0.6%, se realizó el ensayo de estabilidad y flujo. Los resultados obtenidos fueron con un porcentaje óptimo de 5.75% de C.A, la estabilidad de la mezcla convencional fue de 1351 kg y su flujo de 3.1 mm, en cambio de la mezcla modificada con 0.35% de fibra de polipropileno, fue de 1360 kg, hubo poca mejora, en cambio en flujo se obtuvo un resultado de 2.7 mm, lo cual representa un mejor comportamiento en cuanto a resistencia en las deformaciones, con lo cual se concluyó que solo mejora el flujo dentro del límite establecido por la norma INVIAS artículo 450.4.2.

Rojas, Torres, Vallejos, Flores y Flores (2009), en su artículo “estudio de mezclas asfálticas con material plástico (polietileno) para pavimento de pequeños tramos viales Sucre 2009”, en el cual realizaron una serie de ensayos para determinar el comportamiento en la durabilidad y estabilidad de un pavimento con fibras de polietileno, sometiendo a pruebas como el método Marshall, lo realizaron para una granulometría abierta la cual se denominó como GA mediante probetas cilíndricas de 2 ½” de altura y 4” de diámetro. Obteniendo como resultados que la durabilidad es la misma; sin embargo, cuando se adiciona polietileno al asfalto disminuye la estabilidad, aumenta ligeramente el peso unitario contrario a la estabilidad.

Reyes, Troncoso y Liscano (2005), en su artículo “comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras” se realizó el diseño Marshall para obtener el % óptimo de asfalto, para luego adicionar fibra de polipropileno en porcentajes de 0.15%, 0.30%, 0.45%, 0.60%, y 0.75% en peso con respecto al agregado y para cada ensayo y porcentaje de adición se realizó dos

probetas, a diferente densificación (75 y 50 golpes); el % de asfalto se determinó mediante la metodología Marshall, lo cual se realizó tres probetas para cada porcentaje de asfalto que fueron (7%, 6,5%, 6%, 5.5% y 5%). El resultado obtenido para los ensayos de relación estabilidad/flujo (kg/mm) con respecto a la adición de fibras a 50 golpes fueron: al 0.15% la E/F fue de 461kg/mm, 0.30% la E/F fue de 457 kg/mm, 0.45% la E/F fue de 414 kg/mm, 0.60% la E/F fue de 480 kg/mm, y 0.75% fue de 509 kg/mm y para 75 golpes con adición de 0.15% la E/F fue de 437 kg/mm, 0.30% la E/F fue de 416 kg/mm, 0.45% la E/F fue de 356 kg/mm, 0.60% la E/F fue de 479 kg/mm, y 0.75% fue de 533 kg/mm todo esto se tomó en base a la probeta con 0% de fibra de polipropileno (con una relación de E/F de 486 kg/mm) y concluyó que los porcentajes de 0.75% y 0.60% incrementan la estabilidad pero solo el 0.60% se mantiene dentro de una relación E/F admisible.

### **1.3. Teoría relacionada al tema**

#### **1.3.1. Pavimento flexible**

Según Higuera (2011), se llama pavimento a una estructura vial constituido por diferentes capas de materiales seleccionados que se ejecutan sobre la subrasante los cuales reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten hacia los estratos inferiores en forma gradual proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe brindar una comodidad, seguridad y una eficiencia en el tiempo de traslado. Para un buen funcionamiento debe cumplir con: su anchura, trazo vertical y horizontal, también resistir la fuerza impuesta por las cargas del tránsito para evitar agrietamientos, así como otras fallas. Ser durable, económico además tener un color adecuado para evitar deslumbramientos, reflejos, asimismo ofrecer seguridad al tránsito, además el drenaje debe tener condiciones adecuadas.

Los principales pavimentos se les clasifica en cuatro (4) de los cuales tenemos: pavimento flexible, semirrígido, articulado y rígido. Estos se diferencian por la forma en que transmiten las deflexiones y los esfuerzos a las capas inferiores, también por las capas y la estructura que lo conforman (Medina y De La Cruz, 2015).

Según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos (MCSGGP, 2014), el pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (sub-base, base) y como capa de rodadura una carpeta conformada con materiales bituminosos como agregados, aglomerantes y en algunas circunstancias con aditivos. Sobre las capas granulares se estima como capa de rodadura asfáltica: el tratamiento superficial bicapa, mortero asfáltico, micro pavimentos, mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas en frío.

El pavimento flexible cuenta con una carpeta de revestimiento asfáltico que se coloca sobre la base granular la cual tiene una duración aproximada de 10 a 15 años, este tipo está compuesto básicamente de una sub-base, base granular y una carpeta asfáltica. La dispersión de tensiones y deformaciones son producidas en todas las capas que conforman el pavimento por las cargas del tránsito vehicular, se aplica de tal manera que las capas de la base y revestimiento se absorban las tensiones perpendiculares de compresión del terreno de fundación (Medina y De La Cruz, 2015).

La carpeta asfáltica tiene la principal función de proteger la subrasante, otorgarle uniformidad, textura, la impermeabilización de agentes contaminantes y resistencia a la acción de tránsito. Así también la base, siendo el apoyo para la carpeta asfáltica, y se encarga de transmitir las cargas a las capas inferiores adecuadamente. Por último, la sub base desempeña una función generalmente económica, permitiendo el acomodo de material de menor calidad con respecto al porcentaje de espesor del pavimento, así mismo actúa como un filtro separando a la base de la subrasante evitando daños estructurales (Rengifo, 2014).

El pavimento debe tener resistencia estructural, capaz de aguantar las cargas transmitidas por el tránsito de tal forma que el desgaste o rotura sea gradual y así satisfaga con el ciclo de vida para el cual ha sido diseñado. Debe ser duradero, ya que si la carretera tiene un ciclo de vida prolongado y se mantiene en buen estado evitara la necesidad de construir un nuevo pavimento, así como

la incomodidad de los usuarios al paralizar el tránsito para los mantenimientos, además debe ser cómoda y un costo equilibrado entre la construcción y el mantenimiento que se realizara a dicha vía.

Las ventajas de un pavimento flexibles son: su construcción preliminar es más económica, no cuenta con juntas de unión por lo que la circulación de los vehículos automotores es más suave, otro beneficio importante es cuando deseamos colocar una nueva capa de rodaje, este puede utilizarse nuevamente como base de los pavimentos existentes, tiende a la formación rápida de una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento lo cual disminuye el coeficiente de fricción. Las desventajas de este tipo es que la construcción como las acciones de mantenimiento se llevan en un tiempo mucho más reducido, ocasiona mayores gastos en el mantenimiento, en época de invierno los daños son considerables las cargas pesadas produce Ahuellamiento y son un peligro para los usuarios ya que puede producir accidentes, una vez formadas estas huellas necesita el cambio de una sobre carpeta de asfalto, pero esta no evita que se vuelva a presentar; también tienen una duración menor al pavimento rígido ya que dura entre 10 a 15 años (Miranda, 2010).

Los pavimentos flexibles normalmente están compuestos por 4 capas, la subrasante que es la capa más profunda, sub base que es una capa de material especificado, base granular es la que está por debajo de la capa de rodadura, y la carpeta asfáltica que es la parte última de un pavimento o la que sostiene el tránsito (Medina y De La Cruz, 2015).

### **1.3.2. Tipo fallas en un pavimento flexible**

- **Deformación permanente**

**Ahuellamiento:** Es el hundimiento longitudinal producido por la repetición de cargas localizada en la trayectoria de las llantas de los vehículos. Las causas que producen el Ahuellamiento es baja estabilidad de carpeta asfáltica (desplazamiento de material, compresión y corte), lo cual se da por ingreso de agua e insuficiente grosor de pavimento. Los niveles de daños se miden según

la severidad, bajas de 6 mm hasta 13 mm, media de 13 mm a 25 mm, y alta una profundidad mayor a 25 mm; Su medición se da en metros (m<sup>2</sup>) (Rondón y Reyes, 2015).

La corrugación: Es una curvatura formado en la superficie del pavimento, en forma de valles que se producen próximas una de la otra perpendicularmente, al sentido del tráfico. Las posibles causas que producen la corrugación tenemos la carpeta asfáltica muy deformable o baja estabilidad. Se tiene niveles de severidad, baja medio y alto estas se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) (Gonzales, 2015).

El hinchamiento: Es el esponjamiento vertical de la capa de rodadura, de forma pronunciada encima de un área. Las causas de la expansión son las arcillas expansivas, contaminación de los materiales que conforman la capa de rodadura. Su severidad se determina en baja, media y alta. La medición de la sección expandida se mide en metro cuadrados (m<sup>2</sup>) (Gonzales, 2015).

#### ■ **Fisuraciones o agrietamientos**

La fisura longitudinal y transversal: La longitudinal es la fractura que sufre el pavimento en su superficie y es paralelo al recorrido de las llantas del tránsito vehicular; en cambio la fisura transversal es una fractura que se da en forma perpendicular al recorrido de las llantas o del eje de calzada. La causa para este tipo de falla es porque el pavimento es débil, un deficiente drenaje (ingreso del agua) poca flexibilidad debido a un exceso de filler, envejecimiento del asfalto, agrietamiento. Su severidad está definida en baja, media y alta. Su forma de medir será en metros lineales (ml.)

(Gonzales, 2015).

La fisura tipo piel de cocodrilo: Es una serie interconecta de fisuras entre sí, constituyendo en la superficie de los pavimentos polígonos irregulares con ángulos agudos y con una dimensión inferior a 0.30 m. Es un fenómeno dado por la repetición de cargas (fatiga). Las causas más comunes tenemos

insuficiencia resistencia del pavimento, espesor y pavimento muy deformable. Su severidad está en fisura muy finas menores a 1.5 mm, fisura moderada ancho menor a 5 mm, y muy altas. La fisura se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) (Gonzales, 2015).

La fisura de arco: Es una fisura que tiene la forma de una parábola, lo cual esta generalmente en las huellas de canalización del tránsito, esto es ocurre por el frenado y cambio de dirección. La causa de fisura de resbalamiento es dada por una mezcla asfáltica de baja estabilidad, y poca adherencia con la capa superficial, no tiene un grado de severidad basta con indicar si posee o no. La forma de medir esta fisura es metros cuadrados (m<sup>2</sup>) (Gonzales, 2015).

#### ▪ **Desintegraciones**

El desprendimiento de agregados: Es el desgaste gradual por lo cual se da el desprendimiento de la capa de rodadura, pero no llega a afectar las capas asfálticas inferiores. Las causas son: sobrecalentamiento de bitumen, pérdida de adhesión entre los agregados y el bitumen y fractura de partículas del agregado. Su nivel de severidad está definido en bajo, medio y alto. La medición del desprendimiento es metros cuadrados m<sup>2</sup> (Gonzales, 2015).

Según el Ministerio de obras públicas y comunicaciones (MOPC, 2016) señala que la desintegración por baches: Es la desintegración de la carpeta asfáltica en su totalidad que deja los materiales granulares expuestos al tránsito vehicular lo cual aumenta la profundidad en el área afectada, el hoyo del área afectada usualmente es menor a 0.9 m de diámetro. Las causas más comunes son pavimentos inestable y débil, retención e infiltración de agua. Su severidad esta dado en función del diámetro y profundidad bajo tanto en profundidad como en diámetro menor a 25 mm, medio de 25 a 50 mm y mayor son considerados los de 50 mm a más. La mediada se da en número de baches.

### **1.3.3. Diseño de pavimento flexible**

El diseño de pavimento flexible tentativo será con el diseño de pavimento flexible en caliente Marshall, con el objetivo de calcular el porcentaje de cemento asfáltico adecuado con la relación de vacíos, estabilidad y flujo permitidos por la norma; es importante mencionar que en este diseño tentativo los porcentajes de cemento asfáltico, agregados que resulten ser los más adecuados serán los mismos con los que posteriormente se diseñara y ensayaran junto a distintos porcentajes de fibra de polipropileno y determinara así la mayor resistencia, mejor estabilidad, y otras características de la mezcla asfáltica en prueba.

### **1.3.4. Mezcla asfáltica**

Está constituida por agregados más un ligante asfáltico, de forma que los agregados quedan cubiertos por una lámina de éste, a lo cual se realiza un proceso de compactación. Las proporciones de los agregados determinan las propiedades físicas de la mezcla, así como su rendimiento. La mezcla asfáltica se compone de un 5% de ligante asfáltico y un 90 % de agregados finos y gruesos, Estos determinan las propiedades de la mezcla que son: durabilidad, estabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al deslizamiento, todos estos componentes son de mucha importancia para un buen funcionamiento del pavimento (Dávalos, 2015).

#### **1.3.4.1. Características de la mezcla asfáltica**

##### **➤ Densidad de la mezcla**

De la mezcla compactada su densidad está definida como su peso unitario (kg/m<sup>3</sup>) este valor se obtiene de multiplicar la densidad del agua por gravedad específica total de la mezcla (Terán, 2015).

##### **➤ Vacíos de aire**

Las mezclas asfálticas en caliente deben poseer un cierto porcentaje de vacíos, donde pueda fluir el asfalto para una compactación adicional bajo el tráfico. Por ello la durabilidad de un pavimento depende del porcentaje de vacíos, si tiene menor al 3% estas mezclas serán muy rígidas a lo cual

al poco tiempo se producirá fisuramiento y si tiene mayor al 10% esta será muy permeable (Terán, 2015).

➤ **Contenido de asfalto**

Es la proporción óptima de cemento asfáltico que se debe utilizar para la fabricación de mezcla asfáltica, dependiendo de las peculiaridades del agregado, como son: capacidad de absorción y granulometría. Esta cantidad es importante y se debe determinar en laboratorio, el contenido de asfalto va a depender del tipo de mezcla que deseemos elaborar (Terán, 2015).

**1.3.4.2. Tipos de mezcla asfáltica**

**a) Mezcla asfáltica en caliente**

Es el mezclado de agregados debidamente tamizados más el cemento asfáltico, lo cual se le agrega un debido porcentaje de este con respecto al peso total de la mezcla para lograr una adecuada trabajabilidad y la combinación de estos se realiza a una temperatura de 140° centígrados.

**b) Mezcla asfáltica en frío**

Está compuesta por la mezcla de agregados, relleno mineral (filler), más una emulsión asfáltica; dicha mezcla se realiza en condiciones climatológicas, en algunos casos la emulsión asfáltica se precalienta hasta 60° centígrados, pero los agregados que lo componen no.

**c) La mezcla asfáltica modificada**

Son los asfaltos modificados del producto de la adición de un material o aditivo al cemento asfáltico y agregados con el fin de disminuir las patologías presentadas en el pavimento. Sus características determinadas en laboratorio a tener en cuenta son: densidad, vacíos en los agregados, y contenido de asfalto (Mejía y Sierra, 2017).

La densidad para tener un rendimiento duradero, los vacíos que son espacios de aire que está entre la mezcla compactada y provee los



espacios para que pueda fluir el asfalto durante la compactación adicional, su porcentaje adecuado de vacíos debe tener entre 3 y 5%, espacio en los agregados, estos son vacíos sólidos del agregado. Su contenido de asfalto depende de la granulometría, capacidad de absorción de los agregados (Mejía y Sierra, 2017).

### **1.3.5. Asfalto**

Para Terán (2015), el asfalto es una sustancia pegajosa, negra, sólida derivada del petróleo, además es un material bituminoso que está compuesto por carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno. Este material al calentarse se vuelve líquido por lo que permite con facilidad revestir los agregados durante su elaboración.

La obtención de asfalto se da a través de la refinación del petróleo crudo, y sus propiedades físicas del cemento asfáltico, que se tienen en cuenta para la construcción, mantenimiento y diseño de carreteras son: durabilidad que es el tiempo que un asfalto puede mantener sus características originales cuando es expuesto a procesos de envejecimiento y degradación, susceptibilidad a la temperatura consiste en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir los agregados. Adhesión es la capacidad de asfalto de unirse con los agregados, cohesión cuando el asfalto mantiene firme las partículas del agregado, susceptibilidad al endurecimiento y envejecimiento esto tiende a endurecerse durante la construcción y acabado del pavimento lo cual es causado por el proceso de oxidación (Lopez y Veloz, 2013).

#### **a) Tipos de asfalto**

Se tiene asfalto sólido (cemento asfáltico), asfalto curado y emulsión asfáltica. El asfalto sólido es el más utilizado en pavimentación, lo cual se realiza según la norma ASTM D-946 y se clasifica de acuerdo a la consistencia medida por ensayo de penetración, asfaltos curados son solventes de petróleo que han sido mezclados con cemento asfáltico, y se

tiene 3: asfalto de curado rápido constituido de cemento asfáltico con gasolina o nafta, curado medio que es asfalto disuelto con kerosene y curado lento que es cemento más aceites de baja volatilidad, y la emulsión asfáltica que está compuesta agua, cemento asfáltico y una pequeña cantidad de un agente emulsionante, (Mejía y Sierra, 2017).

**b) Función de asfalto**

Es impermeabilizar la estructura del pavimento, esto hace referencia al impedimento de del agua ya sea de procedencia de la lluvia u otro cualquier tipo, también proporcionar la unión con los agregados para mejorar la resistencia de la estructura (Minaya, 2017).

**1.3.6. Ensayos para el asfalto**

**a) Ensayo de viscosidad**

Se mide en un viscosímetro capilar, a temperaturas de 60° C, porque es la temperatura más alta que puede llegar experimentar durante su servicio, y a 135°C aproximadamente porque es la viscosidad de mezclado y colocación. Estos son utilizados para clasificar el cemento asfáltico según los trabajos de pavimentación y ver si es apropiado o no para el pavimento diseñado (Lopez y Veloz, 2013).

**b) Ensayo de penetración**

Se realiza para determinar la dureza de la mezcla bituminosa, por otro lado, se usa para determinar la capacidad de fluencia del estado cemento asfáltico cuando está a temperatura ambiente. Esto consiste en medir la longitud en milímetros que una aguja penetra verticalmente en el cemento asfáltico que ha sido calentado, en un baño de agua a 25° C que ha sido controlado. Se coloca la aguja normalizada con 100 g de peso sobre el cemento asfáltico por 5 segundos, (Terán, 2015).

**c) Ensayo de punto de inflación**

Este ensayo mide a que temperatura máxima se puede realizar el calentamiento, sin peligro de se produzca la inflamación, de los elementos

combustibles que esta contiene, por otro lado, se menciona que esta temperatura está por debajo del punto de combustión, (Paredes, 2009).

**d) Ensayo de ductilidad**

Para Terán (2015), es un espécimen de cemento asfáltico a la cual se mide el alargamiento al momento de ser estirada a una velocidad de 5 cm/min y a una temperatura de 25° C y antes de que esta se rompa.

**e) Ensayo de solubilidad ASTM D 2042**

Este ensayo mide el grado de pureza del cemento asfáltico; para la obtención de esta medida, se hecha 2 gramos de la muestra en un solvente llamado tricloroetileno, para después filtrar la solución a través de una plancha de asbesto, luego se pesa la masa retina en el filtro y se obtiene la solubilidad, (Paredes, 2009).

**1.3.7. Materiales de una mezcla asfáltica.**

**1.3.7.1. Cemento asfáltico**

Son restos de la separación del petróleo, y su característica principal es su permanecía en estado semisólido a temperatura de ambiente, la norma en la que se basa es la ASTM D-946 (clasificación estándar por grado de penetración para cementos asfálticos utilizados en pavimentos), los grados de penetración son los siguientes: CA 40/50 PEN, CA 60/70 PEN, CA 85/100 PEN y CA 120/150 PEN. Cada uno de estos grados se determina mediante la prueba de penetración que consiste en dejar penetrar una aguja 5 seg. dentro de la muestra de asfalto bajo una carga estipulada de 100 gr.

Se clasifica por la viscosidad absoluta y penetración, su empleo también dependerá de las diferentes tipologías de clima de la región. El cemento debe tener aspecto homogéneo y al ser calentado a  $145 \pm 30$  °C aproximadamente no debe formar burbujas. Este también puede modificarse con la inclusión de aditivos que puede ser, rejuvenecedores, polímeros, u otro aditivo garantizado con ensayos y pruebas.

Cuadro 1: Selección de tipo de cemento asfáltico

Temperatura media anual			
24 °C o más	24 °C – 15 °C	15 °C – 5°C	Menos de 15 °C
40 - 50 o 60 - 70	60 - 70	85 - 100	Asfalto
Modificado		120 - 150	Modificado

Fuente: MC-ETGC (2013), adecuado tabla 415.01.

### 1.3.7.2. Fibra de polipropileno

Es un material que disminuye el agrietamiento del concreto, mejora la resistencia a la tracción, compresión y reduce la fisuraciones por retracción, así como de modo permeable ayuda que el agua no dañe al concreto y mejora el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, (Sika, 2016).

Tabla 1: Características de la fibra de polipropileno

Material	Polipropileno modificado
Punto de fusión	170°
Módulo de elasticidad	15,000 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento de rotura	20 – 30%
Resistencia a la tracción	350 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia química a los ácidos	Excelente
Tamaño de fibra	¾" (19mm)

### 1.3.7.3. Agregados

Los agregados son partículas fragmentadas que se usa como parte de una mezcla asfáltica en caliente, concreto hidráulico, material estabilizador, y construcción de afirmados. Los agregados son piedra chancada, arena y cal hidráulica; estos agregados normalmente componen del 90% -95% del peso total de la mezcla y en volumen un aproximado del 80%.

De acuerdo con el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (MC-ETGC, 2013), los agregados y el filler usados para mezclas bituminosas deben cumplir con ciertas características

para que evite el desprendimiento causados por la acción del tránsito debido al rozamiento de las llantas y por acción del agua. En este manual se considera los agregados retenidos en el tamiz n°4 como agregado grueso, los agregados finos son los que pasan hasta el tamiz n° 200.

**a) Agregado grueso**

Para el MTC E 207 (2016), el agregado grueso son las fracciones del agregado retenido en el tamiz N° 4. Las propiedades con las que debe cumplir son: no debe tener fragmentos planos o alargados más del 5%, de su peso, y debe estar limpio.

En el anexo 423.02 de MC-ETGC (2013), especifica a los agregados:

Agregados minerales gruesos: se usará lo que corresponda según MC-ETGC (2013), la subsección 415.02 (a), donde dice que estos agregados pétreos deben poseer la naturaleza de unirse al asfalto, para que no se deprendan con la acción del tránsito. Para este caso se considerará como agregado grueso a la porción retenida en el tamiz número 4 (4.75mm) hacia atrás. Este agregado debe ser procedente de la trituración de rocas, gravas o de la combinación de ambas, además de sus fragmentos estar limpios, resistentes y durables.

**b) Agregado fino**

Agregado minerales finos: en MC-ETGC (2013), subsección 415.02, nos dice que los agregados finos son los considerados la porción que queda retenido entre el tamiz número 4 (4.75 mm) y número 200 (74 um). Este debe proceder de trituración de arena o la mezcla con arena natural, sus granos deben ser duros, limpios, con buena superficie angular y rugosa.

**c) Polvo mineral**

El polvo mineral: este procede de la trituración de los agregados pétreos o puede ser materiales comerciales como la cal hidráulica o cemento portland, su uso será siempre que no presente una actitud plástica, descrito en la subsección 415.02 de MC-ETGC (2013), recomienda que

deberá encontrarse con un peso unitario entre 0.5 y 0.8 g/cm<sup>3</sup> según el ensayo MTC 205 y coeficiente de emulsibilidad inferior a 0.6 (NLT 180).

### 1.3.8. Ensayo para los agregados

#### 1.3.8.1. Requerimiento para el Agregado grueso

Cuadro 2: Ensayos de agregado grueso

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Análisis granulométrico	MTC E 204		
Peso específico y absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Porcentaje de caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95

Fuente: Manual de Carreteras EG – 2013

- a) **Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos**, para el Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC E 204 (2016) determina el cumplimiento de la distribución de partículas con los requisitos especificados de la obra y control de producción de agregado y para la norma ASTM D - 422, tiene por objetivo determinar el porcentaje de suelo que los diferentes tamices usados en el ensayo, hasta la malla N° 200 y la contabilización de la distribución de tamaños de partículas de suelo.
- b) **Peso específico y absorción de agregados gruesos**, para el MTC E 206 (2016), gravedad específica y absorción de agregados gruesos: tiene por objetivo determinar el peso específico seco y saturado del agregado fino. Los equipos serán, balanza, estufa, cesta de malla de alambre, depósito de agua, tamiz. La muestra se tomará según MTC E 201.

c) **Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½”)**, para el MTC E 207 (2016), abrasión los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½”): el objetivo es determinar resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles. Esto consiste en determinar la pérdida de masa a través de la máquina de los Ángeles, a través en un tambor giratorio con esferas de acero, cuya cantidad depende de la gradación de la muestra de ensayo. Para dicho ensayo se usa el equipo de los ángeles tamices, balanzas. Las muestras se toman desde el tamiz 1 ½” hasta el número 4. Referencia normativa NTP 400.019: Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

Pasante	Retiene (Retenidos)	“A” (12) gr	“B” (11) gr	“C” (8) gr	“D” (6) gr
1 ½”	1 “	1250 ± 25			
1”	¾ “	1250 ± 25			
¾ “	½ “	1250 ± 10	2500 ± 10		
½”	3/8 “	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8 “	¼ “			2500 ± 10	
¼ “	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10

Figura 1: Gradación de agregado

La cantidad de esferas, dependerá del tipo de gradación de la muestra de ensayo.

Cuadro 3: Masa de carga según gradación

Gradación	Masa (g)	N de esferas
A	5 000 ± 25	12
B	4 584 ± 25	11
C	3 330 ± 20	8
D	2 500 ± 15	6

Fuente: MTC E 207

- d) Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio**, para el MTC E 209 (2016), la durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio: su objetivo es determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Se usará tamices, regulador de temperatura, balanza, pedida de peso específico, reactivos (solución de sulfato de sodio y magnesio), la muestra considerada para agregado fino será la que pase por el tamiz 3/8" (9.50 mm) al número 30 (600um) una cantidad de 100 g. Y el agregado grueso será el retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm).
- e) Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso**, para el MTC E 210 (2016), método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso: su objetivo es conocer el porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso requerido. En los equipos se usarán balanzas, tamices, cuarteador, espátula. La muestra se tomará según MTC E 201. Referencias normativas ASTM D 5821: Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate.
- f) Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado**, para el MTC E 214 (2016), prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado: el objetivo de esta prueba es determinar el índice de durabilidad de un agregado, las muestras de para este que se someten a una degradación mecánica así se conocerá la cualidad del agregado. Se usará vaso mecánico de lavado, tamices, recipiente colector, agitador, balanzas, agua destilada, solución de cloruro de calcio. Se tomará la muestra de acuerdo a la MTC E 201. Referencias normativas ASTM D 3744: Standard Test Method for Aggregate Durability Index.
- g) Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles**, para el MTC E 219 (2016), sales solubles en agregados para pavimentos flexibles: tiene por objetivo la cristalización de los agregados pétreos para la determinación de contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua. Se usará balanza analítica, con sensibilidad de 0,01 gr. estufa, capaz de mantener temperaturas de  $105 \pm 5$



°C plancha de calentamiento, mecheros, matraces aforados, vasos de precipitado, pipetas, tubos de ensayo, agua destilada, solución de nitrato de plata, solución de cloruro de bario.

**h) Partículas chatas y alargadas en agregados**, para el MTC E 223 (2016), partículas chatas ya alargadas en agregados: su objetivo es determinar el porcentaje en el agregado las partículas chatas y alargadas. Este ensayo se relaciona con el rompimiento de las partículas de agregado durante la compactación y producción de la mezcla.

### 1.3.8.2. Requerimiento para el Agregado fino

Cuadro 4: Ensayos de agregado fino

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Análisis granulométrico	MTC E 204		
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Equivalente de arena	MTC E 114	60	70
Gravedad específica y absorción	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40

Fuente: Manual de Carreteras EG – 2013

**a) Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)**, para el (MTC) E 111 (2016), el objetivo es determinar el límite plástico del suelo, así como también su índice de plasticidad los equipos a utilizar para este ensayo son los siguientes: espátula, de hoja flexible, recipiente de porcelana para almacenaje, balanza con aproximación a 0,01 gramo, horno o estufa, tamiz N° 40, agua destilada, recipiente para determinar la humedad y

una superficie de rodadura. La muestra para determinar solo el límite plástico es de 20 gramos.

- b) Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino**, para el (MTC) E 114 (2016), el equivalente de arena de agregado fino y suelos: tiene por objetivo determinar un porcentaje máximo permisible de finos arcillosos y polvo en los agregados. este ensayo se realiza a los materiales que han pasado el tamiz N° 4. Su finalidad de este ensayo es asignar un valor empírico al contenido de material arcilloso presente en el espécimen de ensayo y su exceso de este determinara los cambios en la calidad de los agregados.
  
- c) Gravedad específica y absorción de agregados finos**, para el (MTC) E 205 (2016), la gravedad específica y absorción de agregados finos: tiene por objetivo determinar el peso específico seco y saturado del agregado fino. Los equipos serán, balanza, estufa, franco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup>, molde cónico, varilla de apisonamiento. La muestra se tomará según MTS E 201.
  
- d) Angularidad del agregado fino**, para el MTC E 222 (2016), angularidad del agregado fino: su objetivo es determinar por medio de cálculo de vacíos de aire y la angularidad de los agregados finos, la cual se correlaciona con la resistencia al Ahuellamiento. Se usará tamices, cilindro metálico, embudo, marco metálico. La muestra será la misma que para la elaboración de la mezcla asfáltica.

### **1.3.9. Ensayos realizados a mezcla asfáltica**

#### **1.3.9.1. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall:**

El método Marshall tiene por objetivo realizar un análisis entre la relación de densidad y volumen de vacíos, así como la resistencia a la deformación y otro ensayo para determinar la estabilidad y flujo de los especímenes compactados. Este método puede ser utilizado in situ, como también en laboratorio, (Terán, 2015).

Para el MTC E 504 (2016), Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall: el objetivo es determinar la deformación plástica de la mezcla, se usará probetas, de 102 mm de diámetro y 64 mm de altura, extractor de probetas, martillo de compactación, pedestal de compactación, prensa, medidor de estabilidad, mezcladora y complementos como tamices, balanzas, bandejas. Las muestras están especificadas en la norma, considerar mínimo tres especímenes por grupo de ensayo.

El MTC E 504 (2016), señala que la resistencia a compresión: tiene por objetivo es medir la resistencia a la compresión de mezcla bituminosa compactada, para especímenes fabricados y pesados en laboratorio, pero también para los mezclados en planta. Su finalidad es contribuir a la determinación de la mezcla y establecer su conformidad bajo las condiciones del material del pavimento y cargas. Los equipos que se requieren para este ensayo son los moldes para elaborar el espécimen, la máquina de prueba, el horno, baño de agua caliente y la balanza. Ingredientes que conforma la muestra serán separados dentro de la deseada fracción de tamaño. Los tamices serán utilizados para deducir las fracciones deseadas: 50,0 mm; 37,5 mm; 25,0 mm; 19,0 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm, y 2,00 mm

Tabla 2: Requisitos para mezcla asfáltica en caliente

Parámetros de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1.0 Número de golpes por lado Compactación	75	50	35
2.0 Estabilidad mínima (KN)	8.15	5.44	4.53
3.0 Flujo en (mm)	2 -3.5	2 - 4	2 - 5
4.0 Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5.0 vacíos de agregado mineral	Ver tabla 3		
Inmersión – compresión (MTC E 518)			
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700 - 4000		

Fuente: Manual de carreteras (especificaciones técnicas generales para construcción) EG - 2013

Tabla 3: Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA) de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas.

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %
	Marshall
1" (25,0 mm)	13
¾" (19,0 mm)	14
½" (12.5 mm)	15
3/8" (9,50 mm)	16
N° 4 (4.75 mm)	18

Fuente: Manual de carreteras EG - 2013

### 1.3.9.2. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste:

El MTC E 515 (2016), señala que la pérdida por desgaste: tiene objetivo determinar el porcentaje de pérdida por desgaste de las mezclas a través del ensayo realizado en la máquina de los Ángeles, se realiza para mezclas en control de obra, como en laboratorio, el ensayo consiste en determinar la cohesión, trabazón y la resistencia a la disgregación de la maza. Los equipos necesarios son el de ensayo de Marshall para elaborar el espécimen, balanza, termómetros y la máquina de los Ángeles para los respectivos ensayos, pero sin las bolas de acero que es la carga abrasiva. Para este ensayo se recomienda 4 especímenes como mínimo.

### 1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo 2018?

### 1.5. Justificación del estudio

En la actualidad las carreteras del país, no cumplen con el periodo de vida para el que han sido diseñadas debido a los diferentes factores que lo afectan, como son la temperatura, el tránsito, el clima y los materiales que conforman la capa de la sub rasante. Lo cual hacen que el pavimento presente las diferentes fallas: deformación

permanente, fisura miento o agrietamiento y desintegraciones, por ello se busca la forma de garantizar en su plenitud la estructura del pavimento.

Para el desarrollo de este proyecto, el diseño de la carpeta asfáltica del pavimento estará basado en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 504, donde establece el procedimiento y los requisitos mínimos para elaboración de los especímenes para la realización de pruebas de los ensayos considerados, así como el MTC E 515 ensayo de pérdida por desgaste. Del mismo modo se busca que el desarrollo de esta investigación sirva como base de información para futuros estudios similares, relacionados al diseño de carpeta asfáltica modificada del pavimento flexible, donde se planteen nuevas alternativas para mejorar las fallas y limitaciones de los pavimentos convencionales.

Este proyecto con el uso de las fibras de polipropileno en el pavimento flexible busca disminuir las fallas mencionadas anteriormente, así como también tener una mayor duración comparado con un pavimento convencional para evitar mantenimientos repetitivos y la incomodidad de los usuarios; por lo que se requiere asegurar un tráfico fluido, asimismo movilizarse de un lugar a otro en menos tiempo posible, igual modo lograr una transitabilidad sin dañar los vehículos; ya que logrando todo esto se ve reflejado en el crecimiento económico y social del país.

#### **1.6. Hipótesis**

La fibra de polipropileno disminuye la pérdida por desgaste e incrementará la estabilidad y mantendrá el flujo dentro de los parámetros de metodología Marshall de la mezcla asfáltica en caliente.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Evaluar el efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento, de la mezcla asfáltica en caliente.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente con 0.5, 1.5 y 2.5 % de fibra de polipropileno por el método Marshall.
- ✓ Determinar el porcentaje de fibra de polipropileno que origine mayor estabilidad y mantenga el flujo dentro de los parámetros del método Marshall.
- ✓ Determinar el porcentaje de pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica en caliente con 0.5, 1.5 y 2.5 % de fibra de polipropileno y una mezcla convencional de acuerdo al MTC E 515.
- ✓ Determinar el porcentaje de fibra de polipropileno que produzca menos pérdida por desgaste a través de un análisis estadístico.
- ✓ Comparar la mezcla asfáltica en caliente convencional, con la mezcla asfáltica en caliente que contiene fibras de polipropileno.

## II. MÉTODO

### 2.1. Diseño de investigación

El desarrollo de esta investigación es de tipo básica por su finalidad, cuantitativa por su enfoque, explicativa por su nivel de alcance, transversal por su temporalidad, y de laboratorio. El desarrollo de investigación es Experimental Puro, Con Pos Prueba Únicamente y Grupo Control (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

*Esquema:*

RG1	---	O1
RG2	X2	O2
RG3	X3	O3
RG4	X4	O4

*Leyenda:*

RG = Grupo o muestra aleatorio

RG1→ grupo sin fibras de polipropileno

RG2→ grupo 0.5% fibras de polipropileno

RG3→ grupo 1.5% fibras de polipropileno

RG4→ grupo 2.5% fibras de polipropileno

X = Tratamiento experimental

O = Medición del efecto sobre la variable dependiente

O1→ Medición sin fibras de polipropileno

O2→ Medición del efecto 0.5% fibras de polipropileno

O3→ Medición efecto del 1.5% fibras de polipropileno

O4→ Medición efecto del 2.5% fibras de polipropileno

--- = Ausencia de estímulo (Indica que se trata de un grupo de control)

## 2.2. Variables, Operalización

Cuadro 5: Variables de Operalización

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE DIMENSIÓN
Fibra de polipropileno	Es una fibra que reduce el agrietamiento durante la contracción en estado plástico. Durante la mezcla, esta se distribuye uniformemente formando una red tridimensional muy uniforme (sika, 2016).	Los porcentajes de fibra de polipropileno de 0.5, 1.5 y 2.5% se estimara con relación al volumen de la mezcla asfáltica.	Tiene efecto. No tiene efecto.	Nominal
Estabilidad y flujo	Es la máxima resistencia a la deformación a una razón repetitiva de carga. Es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinada durante el ensayo de estabilidad (MTC E 504, 2016)	Se realizara en laboratorio los ensayos de estabilidad mediante el ensayo Marshall.	Kilo Newton (KN)	Razón
Pérdida por desgaste	Permite estimar directamente la trabazón, cohesión, también la resistencia a la disgregación de la mezcla ante efectos abrasivos y otros originados por el tráfico (MTC 515, 2016)	Se realizara en laboratorio los ensayos de pérdida por desgaste mediante la máquina de los Ángeles.	Porcentaje (%)	Razón



### 2.3. Población y Muestra

- **Población:** Mezcla asfáltica elaborado de cemento asfáltico, arena gruesa, piedra chancada, cal hidráulica y fibra de polipropileno.
- **Muestra:** Estará constituida por 37 especímenes de forma cilíndrica, de mezcla asfáltica de diámetro de 102 mm (4”) y una altura de aproximada de 64 mm (2.5”), (MTC E 504 y 515, 2016).

Tabla 4: Cantidad de especímenes por ensayo

TIPO DE ENSAYO	CANTIDAD DE ESPECÍMENES	% C.A	% DE FIBRA POLIPROPILENO
Contenido de C.A	12	4.5, 5, 5.5 y 6	
Estabilidad y flujo	9	5.3	0.5, 1.5, y 2.5
Pérdida por desgaste	16	5.3	0, 0.5, 1.5, y 2.5

### 2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas: observación experimental (de laboratorio), así como también los procedimientos establecidos del Instituto del Asfalto, MTC, AASHTO y ASTM, que son una guía para realizar los ensayos para lo cual cada uno de estos tienen sus propios instrumentos de medición y procedimiento.

Instrumentos: Laboratorios del Centro de Innovación Tecnológica de la UCV, Ministerio de Transportes y ficha de recolección de datos dispuestas en los anexos con la finalidad de tomar datos de manera ordenada, coherente y específica de los ensayos que se están realizando.

Los procedimientos para la recolección de datos se llevarán de acuerdo a lo que recomiende las normas y ensayos establecidos.

## **2.5. Métodos de Análisis de Datos**

Para el procesamiento y análisis de resultados se utilizará el software Excel, estadístico SPSS para generar las tablas simples, de doble estrada y figuras, así como el software estadístico SPSS; las técnicas estadísticas de Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba Post Hoc (Tukey), estos serán referenciados en las normas técnicas como son ASTM, AASHTO Y MTC.

## **2.6. Aspectos Éticos**

La investigación se desarrolla dando cumplimiento a la Norma Técnica, al ministerio de transportes y comunicaciones (MTC), ISO 9001, 690 entre otras, para obtener resultados satisfactorios, las cuales no serán manipulados y reflejarán estrictamente los ensayos realizadas.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Características de investigación

Para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente se utilizó el método Marshall, los agregados finos y gruesos se obtuvieron de la cantera San Martín, (Chicama, Ascope, La Libertad).

Las condiciones ambientales de Trujillo, La Libertad, han sido consideradas para el diseño de mezcla asfáltica, según el IGP indica que la media anual de temperatura anual máxima y mínima para esta zona es de 22.9°C y 15.7°C (periodo 1950-1991) tal como se observa en la figura.

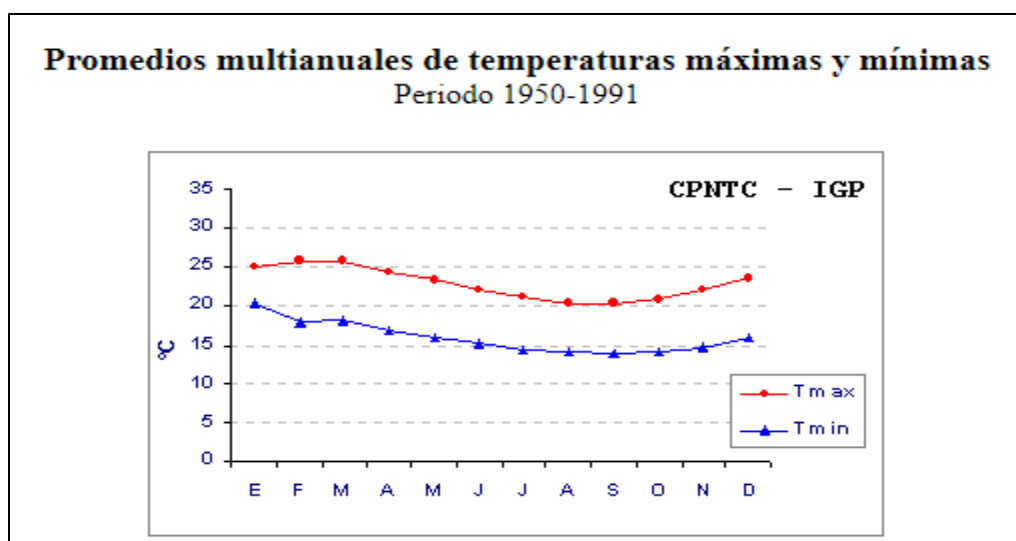


Figura 2: Promedios de temperatura máximas y mínimas en La Libertad.

#### 3.2. Evaluación y recolección de componentes

La elección de los agregados y de la piedra chancada se dio de acuerdo a la EG-2013 MTC donde recomienda que los agregados deben poseer una naturaleza tal que cuando se use en la capa de rodadura no se deteriore con facilidad por acción del agua o del tránsito. Para esto las especificaciones de la EG-2013 MTC recomiendan que los agregados gruesos deberán ser limpios sin restos de limos, derivar de la trituración de rocas o gravas y no presentar exceso de partículas planas ni alargadas. El agregado fino debe ser duro, limpio y con superficie angular y rugosa, libre de impurezas. De usarse relleno mineral se recomienda que sea un

derivado de la trituración de materiales pétreos o en el caso comercial puede usarse la cal hidráulica o cemento portland. De acuerdo con las especificaciones EG-2013 MTC, se denomina agregado grueso a la porción de material que retiene el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino es el material que está entre el tamiz de 4,75 mm (N.º 4) y 75 µm (N.º 200) y el polvo o relleno mineral el material que pasa el tamiz de 75 µm (N.º 200).

### 3.3. Ensayo de los agregados

#### 3.3.1. Análisis granulométrico

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo establecido por el MTC E 204, cuyo objetivo es realizar el trazo de la curva granulométrica, el tamizado y peso de los porcentajes que pasan en cada malla serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas, la cantidad de agregado fino debe ser aproximadamente de 300 gr o 500 gr y el agregado grueso se considera lo establecido en la tabla 1 del Manual de Ensayos de Materiales MTC E 204.

Cuadro 6: Obtención de muestra para ensayo

Tamaño máximo nominal abertura cuadrada		Cantidad mínima de la muestra de ensayo
Pulgadas	mm	kg
3/8"	9,5	1
1/2"	12,5	2
3/4"	19,0	5

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E 204 tabla 1.

Cuadro 7: Parámetros de cumplimiento para mezcla asfáltica

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80-100	100	-
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	-
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425 mm (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180 mm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 mm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual de Carretera EG – 2013

El cuadro 7, representa los parámetros de cumplimiento de los agregados, la gradación adecuada para realizar una mezcla asfáltica eficiente.

Cuadro 8: Porcentajes que pasan de los agregados gruesos y finos.

TAMIZ	ABERTURA	AG. GRUESO	AG. FINO	FILLER	MEZCLA	ESPECIFICACIÓN	
N°	mm	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA	% PASA	GRADACIÓN MAC - 1	
(1")	25,0	100.00	100.00	100.00	100.00	100	100
(3/4")	19,0	76.39	100.00	100.00	88.67	80	100
(1/2")	12,5	39.08	100.00	100.00	70.76	67	85
(3/8")	9,5	19.17	100.00	100.00	61.20	60	77
(N° 4)	4,75	1.85	100.00	100.00	52.89	43	54
(N° 10)	2,00	0.00	80.90	100.00	42.45	29	45
(N° 40)	0.425	0.00	37.04	100.00	20.52	14	25
(N° 80)	0.18	0.00	19.92	100.00	11.96	8	17
(N° 200)	0.075	0.00	6.82	80.00	5.01	4	8

El cuadro 8, representa el análisis granulométrico del agregado fino y grueso, realizado al material con el que posteriormente se diseñaría la mezcla; así también el porcentaje de la mezcla resultante de la unión de ambos agregados considerando el cumplimiento de la Gradación de Mezcla Asfáltica Caliente 1.

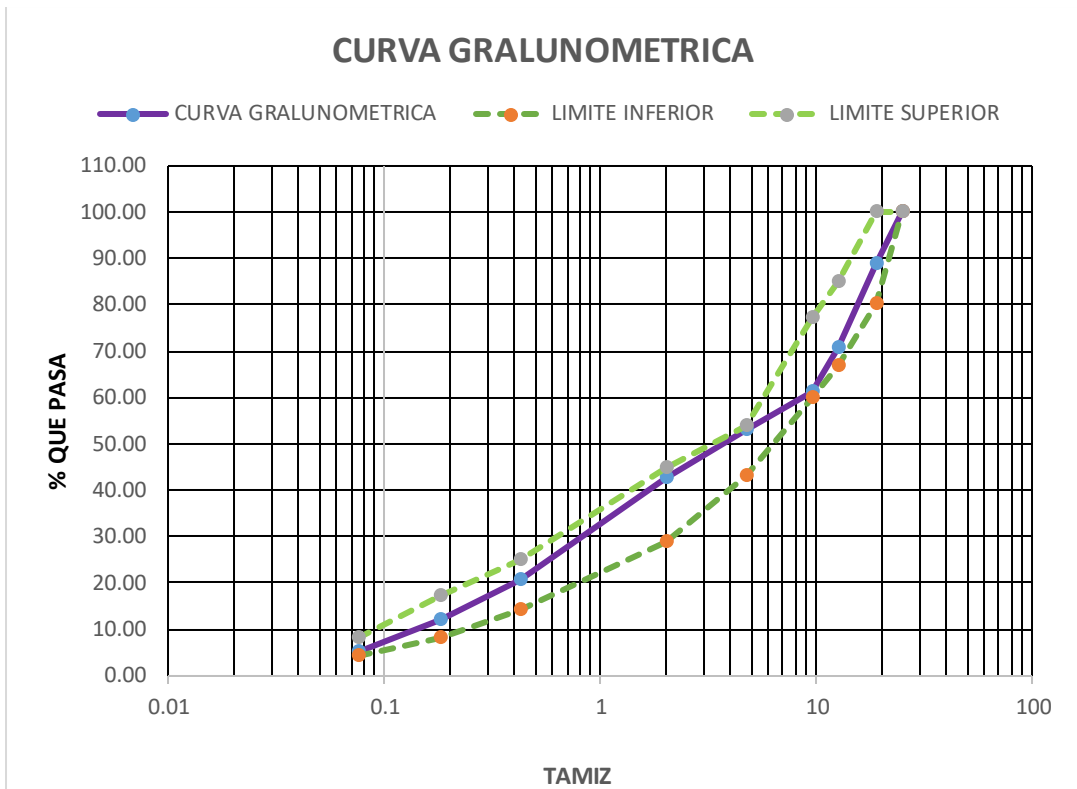


Figura 3: Curva granulométrica del agregado grueso y fino con respecto a los límites MAC-1.

De acuerdo a la figura 3, el agregado grueso y fino que se utilizó en la mezcla asfáltica están dentro de los límites especificados por el MTC EG-2013.

### 3.3.2. Peso específico y absorción agregado grueso

Para este ensayo se seleccionó la muestra mínima de acuerdo al cuadro 9, donde muestra el valor mínimo de muestra a ensayar de acuerdo al tamaño nominal según el MTC.

Cuadro 9: Muestra mínima para ensayo

Tamaño máximo nominal abertura cuadrada		Cantidad mínima de la muestra de ensayo
Pulgadas	mm	kg
½" o menos	12,5	2
¾"	19,0	3
1"	25,0	4

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E 206

Una vez obtenida la muestra de ensayo se pasó a realizar el cuarteo para luego ser secado por un tiempo no mayor a tres horas a  $105 \pm 5$  °C. la muestra fue sumergida en agua por 24 horas (hrs). De este material se determinó el peso saturado, peso saturado superficial y después de un secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C por 3 horas se obtuvo el peso seco final. Para el desarrollo de este ensayo se siguió paso a paso el MTC E 206, en el cual describe los materiales, equipos y procesos a llevar a cabo.

Cuadro 10: Resultado de ensayo de peso específico y absorción agregado grueso

DESCRIPCIÓN			AGREGADO GRUESO
Peso de material saturado y superficial seca (en aire) (gr)	A		1513.40
Peso material saturado y superficial seco (sumergido) (gr)	B		934.30
Volumen masa + volumen de vacíos (cm <sup>2</sup> )	C=A-B		579.10
Peso de material seco a 105° C (gr)	D		1500.10
Volumen de masa (cm <sup>3</sup> )	E=D-B		565.80
Peso Específico Bulk (base seca)* (gr/cm <sup>3</sup> )	D/C		2.59
Peso Específico Bulk (base saturada)* (gr/cm <sup>3</sup> )	A/C		2.61
Peso aparente (base seca)* (gr/cm <sup>3</sup> )	F/G		2.65
Absorción* (%)	((A-D)/D)*100		0.89

En el cuadro 10 se representa los datos obtenidos en el laboratorio según cada el procedimiento del MTC E 206, obteniendo como resultado una absorción de 0.89 % para el agregado grueso, este resultado está dentro del límite máximo establecido por el MTC EG-2013, tal como lo expresa en el cuadro 11.

Cuadro 11: Máximo porcentaje de absorción.

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
<b>Peso específico y absorción</b>	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

El cuadro 11 representa los parámetros máximos de absorción para los agregados teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar.

### 3.3.3. Ensayo de abrasión de ángeles

Para este ensayo se utilizó 5000 gr de material y se pasó a clasificar en un tipo de gradación tal como lo indica la figura 4. Con el fin de determinar el número de esferas de acero de 46.8 mm aproximadamente con un peso que va entre 390 y 445 gr tal como se muestra en la figura 5.

Pasante	Retiene (Retenidos)	“A” (12) gr	“B” (11) gr	“C” (8) gr	“D” (6) gr
1 ½”	1 “	1250 ± 25			
1”	¾ “	1250 ± 25			
¾ “	½ “	1250 ± 10	2500 ± 10		
½”	3/8 “	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8 “	¼ “			2500 ± 10	
¼ “	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10

Figura 4: Gradación de muestra

Gradación	# Esfera	Masa de la Carga Abrasiva
A	12	5000
B	11	4584
C	8	3330
D	6	2500

Figura 5: Número de esferas por método

Una vez ya seleccionado el método de acuerdo a la gradación y tamaño nominal del agregado, se procede a colocar el material más las esferas en la máquina de Ángeles que se hizo girar a por 500 vueltas a una velocidad de 30 a 33 rpm, posterior a eso se retiró, tamizó y peso el material triturado.

Cuadro 12: Selección de método

<b>MÉTODO:</b>	B
<b>MUESTRA:</b>	Agregado Grueso Zarandeado
<b>CANTERA:</b>	San Martín
<b>T.M.N:</b>	¾”



- ✓ Peso antes de la Abrasión: (Pa)= 5,000.0gr.
- ✓ Peso seco del ensayo sobre el tamiz #12 (Pb) =3,575.2 gr.
- ✓ Tipo B: 11 esferas a 500 vueltas.
- ✓ Porcentaje de desgaste =  $([ Pa - Pb ] / Pa) * 100$

**PORCENTAJE**

Después de la Abrasión:

- ✓ Peso Retenido en el Tamiz #12 (PPT#12) = 3,57 kg = 3,573.2 gr
- ✓ Peso Pasante en el Tamiz #12 (PRT#12) = 1,43 kg = 1,426.8 gr

$$PT\#12 = \frac{(5,000 - 3,573.2)}{5,000} \times 100$$

$$PT\#12 = \frac{(5,000 - 1,426.8)}{5,000} \times 100$$

$$PT\#12 = 28.6 \%$$

$$PT\#12 = 71.4 \%$$

$$\text{Porcentaje De Desgaste} = 28.6 \%$$

**3.3.4. Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio)**

En el MTC E 209 se describe este ensayo, la selección de muestra de acuerdo al tamaño máximo nominal, los equipos, materiales, procedimientos del ensayo.

Cuadro 13: Muestra mínima para ensayo para agregado grueso.

Tamiz mm - (pulgadas)		Peso gr
Pasa - Retiene	Pasa- Retiene	
<b>Compuesto de material</b>		
de 9.5 a 4.75 mm	3/8" a N° 4	300 ± 5
de 19,0 a 9.5 mm	3/4" a 3/8"	1000 ± 10
<b>Compuesto de material</b>		
de 12.5 a 9.5 mm	1/2" a 3/8"	300 ± 5
de 19.0 a 12.5 mm	3/4" a 1/2"	670 ± 10
de 37,5 a 19.0 mm	1 1/2" a 3/4"	1500 ± 50
<b>Compuesto de material</b>		
de 25.0 a 19.0 mm	1" a 3/4"	500 ± 30
de 37.5 a 25.0 mm	1 1/2" a 1"	1000 ± 50
de 63.0 a 37.5 mm	2 1/2" a 1 1/2"	5000 ± 300

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E 209

Cuadro 14: Muestra para durabilidad al sulfato de sodio

<b>Pasa el tamiz</b>	<b>Retiene el tamiz</b>
3/8" (9,50 mm)	N° 4 (4,75 mm)
N° 4 (4,75 mm)	N° 8 (2,36 mm)
N° 8 (2,36 mm)	N° 16 (1,18 mm)
N° 16 (1,18 mm)	N° 30 (600 um)
N° 30 (600 um)	N° 50 (300 um)

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E 209

Cuadro 15: Resultados Durabilidad al sulfato de sodio para agregado grueso

<b>INALTERABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCIÓN DE SO<sub>4</sub> Mg</b>					
<b>FRACCION</b>	1	2	3	4	5
<b>T. de MALLAS Pasa Ret.</b>	Gradación Original %	Peso de la Fracción (gr)	Peso Retenido desp. Del Ensayo	Pérdida Total (%)	% de Pérdidas corregidas
<b>1 1/2" 1"</b>					
<b>1" 3/4"</b>	26.49	635	614	3.36	0.89
<b>3/4" 1/2"</b>	33.78	873	852	2.32	0.78
<b>1/2" 3/8"</b>	24.72	639	633	1.04	0.26
<b>3/8" N°4</b>	15.01	393	391	0.32	0.05
<b>TOTALES</b>	100	2540	2490		<b>1.93</b>

Cuadro 16: Resultado durabilidad al sulfato de sodio para agregado fino

<b>INALTERABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCIÓN DE SO<sub>4</sub> Mg</b>					
<b>FRACCION</b>	1	2	3	4	5
<b>T. de MALLAS Pasa Retenido</b>	Gradación Original %	Peso de la Fracción (gr)	Peso Retenido desp. Del Ensayo	Pérdida Total (%)	% de Pérdidas corregidas
<b>3/8" N° 4</b>	0.59			1.4	0.01
<b>N° 4 N° 8</b>	3.96			1.4	0.06
<b>N° 8 N° 16</b>	4.89			1.4	0.07
<b>N° 16 N° 30</b>	7.33	100	98.60	1.4	0.10
<b>N° 30 N° 50</b>	14.85	100	97.90	2.1	0.31
<b>N° 50 N° 100</b>	57.68	100	96.90	3.2	1.82
<b>N° 100</b>	10.70				
<b>TOTALES</b>	100	300	293		<b>2.36</b>

Cuadro 17: Porcentaje máximo de durabilidad para agregado grueso

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 18: Porcentaje máximo de durabilidad para agregado fino

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Durabilidad (al sulfato de sodio o magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Una vez seleccionada la muestra de ensayo se procede realizar el ensayo de acuerdo al MTC E 209, obteniendo como resultado un porcentaje de durabilidad del agregado grueso de 1.93 % tal como se expresa en el cuadro 15 y para el agregado fino se obtuvo un 2.36% como se muestra en el cuadro 16, considerando que se está usando materiales para un diseño de una mezcla asfáltica de una vía a menos de 3000 m.s.n.m. El MTC EG-2013, establece valores máximos de desgaste de los agregados con respecto a la altura sobre el nivel de mar que se muestran el cuadro 17 y 19, límites máximos para agregado grueso y fino.

### 3.3.5. Porcentaje de caras fracturadas agregado grueso

Se desarrolló de acuerdo a la MTC E 210, partiendo de la seleccionar la cantidad de muestra de agregado según el tamaño máximo nominal como se muestra en el cuadro 18. Los equipos, materiales usados fueron seleccionados de acuerdo a lo que el apéndice para el ensayo lo indica; así mismo, el desarrollo del ensayo.

Cuadro 19: Cantidad de muestra para ensayo

Tamaño máximo nominal del agregado	Muestra en gr
1" (25.0 mm)	3000
3/4" (19.0 mm)	1500
1/2" (12.5 mm)	500
3/8" (9.5 mm)	200

Fuente: NTP 400. 021

El ensayo debe cumplir con los porcentajes mínimos de caras fracturadas, ya que a más caras fracturadas se adhiere mejor a la mezcla debido a la rugosidad. En el cuadro 20 se muestra los valores mínimos de caras fracturadas.

Cuadro 20: Porcentajes mínimos de caras fracturadas

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Porcentaje de caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 21: Resultado Caras fracturadas

Tamices		Peso total retenido en mallas (A)	Peso de material (B)	% de caras fracturadas (C=B/A*100)	Escala original % (D)	% de caras fracturadas (E= C*D)
Pasa	Retiene		1 a más	1 más		1
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	404.40	388.50	96.07	28.10	27.00
3/4"	1/2"	792.60	782.00	98.66	44.40	43.81
1/2"	3/8"	303.01	295.60	97.55	27.50	26.83
<b>Sumatoria</b>		1500.01	1466.10	292.28	100.00	97.64
<b>% de caras fracturadas de 1 a más:</b>						<b>97.64</b>

Cuadro 22: Resultado Caras fracturadas

Tamices		Peso total retenido en mallas (A)	Peso de material (B)	% de caras fracturadas (C=B/A*100)	Escala original % (D)	% de caras fracturadas (E= C*D)
<b>Pasa</b>	Retiene		1 más	2 más		2
<b>1 1/2"</b>	1"					
<b>1"</b>	3/4"	404.40	352.20	87.09	28.10	24.47
<b>3/4"</b>	1/2"	792.60	761.30	96.05	44.40	42.65
<b>1/2"</b>	3/8"	303.01	276.60	91.28	27.50	25.10
<b>Sumatoria</b>		1500.01	1390.1	274.42	100	92.22
<b>% de caras fracturadas de 2 a más:</b>						<b>92.22</b>

En los cuadros 21 y 22 se representa los resultados de del ensayo de caras fracturadas, para el cual se realizó una evaluación tanto como para una cara fracturada a más y 2 caras fracturadas a más, obteniendo como resultado 97.64% y 92.22% respectivamente.

### 3.3.6. Sales solubles totales agregado grueso y fino

Este ensayo consiste en poner a prueba el agregado a una solución de cloruro de sodio, para determinar la cantidad de sales que presenta el agregado. La cantidad adecuada de material de muestra se seleccionó de acuerdo al cuadro 23, los distintos equipos, materiales, insumos, y procedimientos para el ensayo están establecidos en el apéndice del Manual de ensayo de materiales MTC E 219 y los porcentajes máximos permitidos de sales solubles en al agregado esta descrito en el cuadro 24.

Cuadro 23: Muestra requerida para ensayo

Material	Cantidad Mínima (Gr)
Grava 50 – 20 mm	1000.0
Grava 20 – 5 mm	500.0
Arena 20 mm	100.0

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E 219

Cuadro 24: Porcentaje máximo permitido (sales solubles)

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 25: Resultado ensayo sales solubles

AGREGADO GRUESO	M-1
a. peso de muestra seca	500.00
b. líquidos sobrenadantes matraz aforado	500.00
c. volumen alícuota	80.00
d. alícuota cristalizada	0.09
<b>% de sales solubles</b>	<b>0.11</b>

Cuadro 26: Resultado ensayo sales solubles

AGREGADO FINO	M-2
a. peso de muestra seca	100.00
b. líquidos sobrenadantes matraz aforado	500.00
c. volumen alícuota	80.00
d. alícuota cristalizada	0.01
<b>% de sales solubles</b>	<b>0.1</b>

En los cuadros 25 y 26 se muestra el resultado de ensayo, donde se obtuvo un porcentaje de sales solubles de 0.11 % para el agregado grueso y de 0.1% para el agregado fino respectivamente. Comparando los valores obtenidos con el cuadro 26 que recomienda el manual, se considera que el material si es apropiado para el uso en una mezcla asfáltica en caliente.

### 3.3.7. Partículas chatas y alargadas

Según el manual de materiales del MTC, el agregado debe tener un máximo de 10% de partículas chatas y alargadas cuadro 28. La elección del tamaño de muestra se dio según el cuadro 27 considerando el tamaño máximo nominal de

3/4", se considera los equipos, materiales y procesos según el manual de materiales ensayo MTC E 223.

Cuadro 27: Obtención de muestra de ensayo

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (PULGADAS)	MÍNIMO DE MUESTRA (KG)
3/8" (9.5 mm)	1.0
1/2" (12.5 mm)	2.0
3/4" (19.0 mm)	5.0
1" (25.0 mm)	10.0

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC E 223

Este ensayo debe cumplir con los parámetros establecidos en la DG – 2013, este ensayo determina la cantidad de partículas chatas y alargadas, el exceso de esta hace que la mezcla no se logre un buen compactado.

Cuadro 28: Máximo porcentaje de alargadas y chatas

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Partículas chatas y alargadas	MTC E 219	10% máx.	10% máx.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 29: Máximo porcentaje de partículas alargadas y chatas

TAMIZ	GRADACION ORIGINAL	PORCENTAJE RETENIDO	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	% PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	% DE CHATAS Y ALARGADAS
	D	A	B	C = B/A*100	E=C*D/100
1" - 3/4"	28.10	925.50	15.30	1.65	0.46
3/4" - 1/2"	44.40	1433.30	26.40	1.84	0.82
1/2" - 3/8"	27.50	845.80	12.60	1.49	0.41
	100.00	3204.60			<b>1.69</b>

El cuadro 29 representa los resultados del ensayo realizado en laboratorio, donde se puede apreciar que el porcentaje de partículas chatas y alargadas es 1.69%, considerando un material óptimo que facilitara la unión y un buen compactado.

### 3.3.8. Índice de plasticidad (malla N° 40 y 200)

Este ensayo se realizó a los agregados que pasan la malla 40 y 200 de acuerdo al procedimiento del MTC E 111 del manual de ensayo de materiales del MTC. La muestra está en función de lo que queremos hallar, si deseamos solo determinar el límite plástico (L.P.), tomaremos 20 gr de la muestra que paso el tamiz N° 40, preparado para el ensayo de límite líquido; se amasa con agua destilada hasta formar una esfera con la masa tomada. Se toma una cantidad de 1,5 a 2,0 gr de dicha esfera como muestra de ensayo.

Este ensayo debe cumplir con los parámetros establecidos en la DG – 2013 como se muestra en el cuadro 30, ya que conociendo el límite líquido y el límite plástico podremos obtener el índice de plasticidad.

Cuadro 30: Resultado de ensayo

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 31: Resultado índice de plasticidad

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2
Ensayos					
N° de golpes	3	4	3		
Código de tara					
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	21.37	22.62	22.19	12.94	12.96
Peso de tara + suelo seco (gr)	21.37	22.62	22.19	12.94	12.96
Peso de agua (gr)	NP	NP	NP	NP	NP
Peso de tara (gr)	10.75	10.08	10.52	11.32	10.72
Peso de suelo seco (gr)	10.62	12.54	11.67	1.62	2.24
Contenido de humedad (%)	NP	NP	NP	NP	NP
<b>IP = LL - LP</b>					
IP: índice plástico del material (%)	LL: Límite líquido del material obtenido (%)			LP: Límite plástico del material obtenido (%)	
	<b>LL:</b>	<b>NP</b>		<b>LP:</b>	<b>NP</b>
		<b>IP:</b>	<b>NP</b>		



De acuerdo a los datos obtenidos en el cuadro 31, el material ensayado no presenta límite líquido, ni límite plástico cumpliendo con el requerimiento del cuadro 30 establecido por el manual de carreteras EG – 2013.

### 3.3.9. Equivalente de arena

Para realizar este ensayo se usó una muestra de 1500 gr que pasa el tamiz N ° 4 siguiendo paso a paso lo indicado en el manual de ensayo de materiales del MTC E 114, es importante respetar las condiciones de los equipos, cantidades de los materiales para obtener mejores resultados. Este ensayo debe cumplir con los parámetros establecidos en la DG – 2013 cuadro 32, para establecer material arcilloso, polvo en suelos granulares y agregados finos.

Cuadro 32: Porcentajes mínimos para Equivalente de arena

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		≤3,000	> 3,000
Equivalente de arena	MTC E 114	60 min.	70 min.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 33: Resultado equivalente de arena

MUESTRA		M - 1	M - 2	M - 3
Inicio del periodo de humedecimiento	M	10:40	10:58	11:25
Fin del periodo humedecimiento (M+ 10)	1	10:50	11:08	11:35
Inicio del periodo de sedimentación	N	10:52	11:10	11:37
Fin del periodo sedimentación (N + 20)	2	11:12	11:30	11:57
Altura de arcilla (cm)	X	12.30	12.70	12.40
Altura de arena (cm)	Y	11.40	11.70	11.20
Equivalente de arena (Y/X)*100	5	93.00	92.00	90.00
Promedio de equivalente de arena %	6	91.67 = <b>92.00</b>		

El cuadro 33 representa el porcentaje resultando de equivalente de arena de la muestra ensayada, este es de 92%, cumpliendo con los requerimientos del cuadro 32.

### 3.3.10. Gravedad específica y absorción del agregado fino

La elección del material se determinó con la norma (MTC E 201) en campo. El agregado fino se obtuvo por cuarteo y secado en un horno de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . De una muestra de 1 Kg de material, se colocó en un frasco 500 gr y se llenó con agua ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) hasta  $500 \text{ cm}^3$  para posteriormente eliminar todos los vacíos con la ayuda de baño maría, cuando ya se hayan eliminado los vacíos, se dejó reposar hasta alcanzar una temperatura de ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y luego se pesó.

El manual de carreteras EG – 2013 establece requerimientos máximos de absorción del agregado fino, cuadro 34.

Cuadro 34: Absorción y gravedad específica

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (MSNM)	
		$\leq 3,000$	$> 3,000$
Gravedad específica y absorción	MTC E 114	0.5 máx.	0,5 máx.

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 35: Resultado Absorción y gravedad específica

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO
Peso de material saturado y superficie seca (en aire) (gr) A	500.00
Peso fiola + H <sub>2</sub> O (gr) B	651.00
Peso fiola + H <sub>2</sub> O + Material (gr) C=A+B	1151.00
Peso fiola + H <sub>2</sub> O + Material saturado y superficie seca (gr) D	961.78
Volumen masa + volumen de vacíos (cm <sup>2</sup> ) E= C-D	189.22
Peso de material seco a 105° C (gr) F	497.64
Volumen de masa (cm <sup>3</sup> ) G=F+B-D	186.86
Peso Bulk base seca (gr/cm <sup>3</sup> ) F/E	2.63
Peso Bulk base saturada (gr/cm <sup>3</sup> ) A/E	2.64
Peso aparente base seca (gr/cm <sup>3</sup> ) F/G	2.66
Absorción ( %) ((A-F)/F)*100	0.47

Los resultados obtenidos en el ensayo MTC E 205 (cuadro 37), una absorción de 0.47%, el agregado fino puede utilizarse sin ningún problema sabiendo que el 0.5 % de absorción es máximo para altitudes menores, iguales y mayores a 3000 m.s.n.m.

### 3.3.11. Angularidad del agregado fino

La muestra requerida para este ensayo será la misma que se usa para la elaboración de mezcla asfáltica. Para este ensayo se usó los tamices N° 8 y 200, los equipos y procedimientos están basados en el ensayo MTC E 222 del manual de ensayos de materiales.

Cuadro 36: Angularidad de finos valores mínimos

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3,000	> 3,000
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40

Fuente: manual de carreteras EG – 2013

Cuadro 37: Resultado de ensayo de angularidad

ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO METODO C					
DATOS		UND	M1	M2	M3
<b>V</b>	Volumen del cilindro	cm <sup>3</sup>	102.73	102.73	102.73
<b>Geb</b>	Gravedad específica bruta	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.58	2.58	2.58
<b>W</b>	Peso de la muestra que llena el cilindro	gr	141.01	141.92	141.35
<b>A°</b>	$(V-(W/Geb))/V*100$	%	46.80	46.45	<b>46.67</b>

### 3.4. Contenido óptimo de asfalto diseño teórico

Este método nos da el porcentaje óptimo de asfalto a través de la siguiente fórmula, con respecto al análisis de granulometría y absorción según el instituto del asfalto.

$$\% CA = 0.032 a + 0.045 b + kc + K$$

Donde:

CA= % óptimo teórico de cemento asfáltico

a = % retenido en la malla 2.36 mm (N° 10)

b = % que pasa 2.36 mm (N° 10) y retenido en la malla 0.074 mm (N° 200)

c = % que pasa la malla 0.074 mm (N° 200)

$k = 0.20$  si el valor de “c” esta entre 15 y 11%

0.18 si el valor de “c” esta entre 10 y 6%

0.15 si el valor de “c” es menor al 5%

$K =$  puede variar de 0.0 a 2.0 según el tipo de material pétreo y su absorción y se sugiere el 0.7

$\% CA = 0.032 a + 0.045 b + kc + K$

$\% CA = 0.032 (57.12) + 0.045 (38.48) + 0.15 (4.40) + 0.7$

$\% CA = 4.92 = 5.00\%$

### **3.5. Diseño Marshall mezcla asfáltica tradicional**

#### **3.5.1. Elaboración de especímenes**

Se elaboraron 12 especímenes con diferente cantidad de “cemento asfáltico”, lo cual se fue aumentando de 0.5% en masa del total de peso del espécimen para determinar el contenido óptimo de asfalto. Se preparan 3 especímenes para cada contenido de asfalto, ya que el MTC E 504, establece como mínimo 3 y de preferencia 5. Cada uno de estos especímenes tendrá un peso de 1200 gramos, lo cual el material requerido para cada uno de los especímenes es de 1200 gramos aproximadamente y 1 galón de cemento asfáltico. Los agregados se secaron a una temperatura hasta obtener una masa constante de  $105 \pm 5$  °C y separados mediante el tamizado:  $\frac{3}{4}$ ” a  $\frac{3}{8}$ ” (19.0 a 9.5 mm),  $\frac{3}{8}$ ” a N° 4 (9.5 a 4.75 mm), N° 4 a N° 8 (4.75 a 2.36 mm) y las que pasan la N° 8 (2.36 mm). La temperatura a la que se calentará el cemento asfáltico para el mezclado será para producir una viscosidad de  $170 \pm 20$  centistokes (1 mm <sup>2</sup>/S = centistok) y para su compactación será calentado hasta que tenga una viscosidad de  $280 \pm 20$  centistokes.

Se pesó en bandejas separadas las porciones de agregados para cada espécimen a ensayar, previamente determinadas de acuerdo a la gradación necesaria para la realización de cada espécimen la cual tendrán una altura de  $63.5 \pm 1.25$  mm, los materiales fueron calentados a una temperatura de 14 °C aproximadamente sobre la temperatura de compactación, tal como lo establece el MTC, para cementos asfáltico. Se mezcla en seco los agregados y formado una abertura

en su centro, se añade una cantidad requerida de cemento asfáltico, y después se procedió a mezclar con una espátula hasta obtener una mezcla uniforme.

$$\text{Peso correcto (kg) del agregado} = \frac{63.5 \times \text{peso unitario de agregado (kg)}}{\text{altura obtenida de la probeta (mm)}}$$

La compactación del espécimen, el molde y el martillo serán calentados a través 15 minutos en un baño de agua a una temperatura de  $121 \pm 28$  °C, luego colocar el conjunto collar, molde y base el pedestal del compactador.

Llenado del molde con la espátula, 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el centro, luego se compactado con 75 golpes en un tiempo menor de 90 segundos. Sacamos el collar y la base, invertimos el espécimen y re ensamble el molde y se aplica la misma cantidad de golpes realizados a la otra cara. Seguidamente sacamos el espécimen y dejamos enfriar al aire libre.

### **3.5.2. Determinación del peso específico aparente y peso unitario (densidad Bulk)**

El ensayo Bulk se realiza cuando el espécimen ha enfriado a una temperatura ambiente, para lo cual el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el MTC E 506 establece el recubrimiento con parafina, si la muestra absorbe más del 2% de agua y el MTC E 514 sin parafina, si el porcentaje de agua absorbida es menor al 2% y con mediciones uniformes.

### **3.5.3. Especímenes cubiertos sin parafina.**

#### **PROCEDIMIENTO**

Determinar la gravedad específica aparente

$$\% \text{ agua absorbida} = \frac{B-A}{B-C} \times 100$$

Donde:

A = Peso del espécimen seco en aire, gr

B = Peso del espécimen saturado superficialmente seco en aire, gr

C = Peso del espécimen en el agua, gr

Determinar el peso antes del recubrimiento, pero esta anteriormente debe ser secada por una corriente de aire caliente hasta llegar a un peso constante. Anotamos como peso A. Luego cubrimos con parafina y dejamos enfriar aproximadamente 30 minutos, pesamos el espécimen y lo anotamos como peso D.

Peso del espécimen recubierto con parafina en agua, pesamos el espécimen sumergido en agua a 25 °C y lo anotamos como peso E. el peso específico de la parafina se toma como F lo cual F= 0.90

$$\text{Calculo de la gravedad especifica aparente} = \frac{A}{D-E - \frac{(D-A)}{F}}$$

Donde:

A = Peso de espécimen seco en el aire, gr

D = Peso del espécimen seco cubierto, gr

E = Peso del espécimen sumergido en agua, gr

F = Gravedad especifica de la parafina.

Densidad del espécimen = (gravedad especifica aparente del agua) \*  $\gamma$

Donde:

$\gamma$  = densidad del agua a 25 °C (997,0 kg/m<sup>3</sup>)

#### **3.5.4. Especímenes saturados con superficie seca (sin recubriendo de parafina)**

##### **Especímenes que contienen humedad**

Sumergimos el espécimen en agua de 25 ° C por 4 ± 1 minuto y pesamos sumergido en agua, lo anotamos como un peso C. si la temperatura de espécimen es diferente en baño en más de 2 °C, se sumergirá por un tiempo de 10 a 15 minutos y si la temperatura del agua es diferente a 25 ± 1 °C, se realizará una corrección al peso específico aparente con la fórmula: corrección = AT x KS x (B - C)

Donde:

AT = 25 °C (temperatura de baño de agua)

$KS = 6 \times 10^{-5} \text{ ML/ ML/}^\circ\text{C}$  coeficiente promedio de la expansión térmica cubica del cemento asfáltico.

El peso en aire del espécimen saturado con superficie seca, se seca con una franela húmeda la superficie del espécimen y pesamos, a este peso lo anotamos como B. luego este espécimen secamos al horno aproximadamente por un tiempo de 15 a 24 horas, con una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , sacamos y dejamos enfriar y pesamos al aire lo cual anotaremos como un peso A.

### 3.5.5. Especímenes secos

Peso en el aire del espécimen, este peso obtendremos que haya estado al aire a temperatura de ambiente, durante 1 hora, a este peso lo anotamos como A.

Sumergimos el espécimen en agua de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  por  $4 \pm 1$  minuto y pesamos sumergido en agua, lo anotamos como un peso C. si la temperatura de espécimen es diferente en baño en más de  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , se sumergirá por un tiempo de 10 a 15 minutos y si la temperatura del agua es diferente a  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , se realizará una corrección al peso específico aparente con la siguiente formula: corrección =  $AT \times KS \times (B - C)$

Donde:

$AT = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura de baño de agua)

$KS = 6 \times 10^{-5} \text{ ML/ ML/}^\circ\text{C}$  coeficiente promedio de la expansión térmica cubica del cemento asfáltico.

El peso en aire del espécimen saturado con superficie seca: se seca con una franela húmeda la superficie del espécimen y pesamos en el aire, a este peso lo anotamos como B.

Calculo del peso específico aparente (peso específico Bulk del espécimen)

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B-C}$$

Donde:

A = Peso del espécimen seco en aire, gr

B = peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca, gr

C = Peso del espécimen sumergido en agua, gr

B – C = Peso del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25 °C

El peso unitario del espécimen se calcula con la siguiente formula:

Peso unitario = peso específico aparente x 997 kg/m<sup>3</sup> (0.997 gr/cm<sup>3</sup>)

Donde:

997.0 = peso unitario del agua en kg/m<sup>3</sup> a 25 °C

### 3.5.6. Especímenes sin recubrimiento de parafina y con dimensiones uniformes

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{0.785 (d)^2 (a)}$$

Donde:

A = peso del espécimen en aire, gr

d = diámetro de la briqueta, cm

a = altura de la briqueta, cm,  $0.785 = \pi/4$

### 3.5.7. Peso específico teórico máximo (RICE)

Se realizar con una muestra de mezcla asfáltica de 2000 gr aproximadamente, colocamos en un envase de vidrio con agua destilada, y movemos hasta eliminar las burbujas de aire, por un periodo de  $20 \pm 5$  minutos, de esta manera obtendremos la gravedad específica teórica.

Calculo:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(A+D-E)}$$

Donde:

A = peso de la muestra seca en el aire, gr

D = peso de envase + agua a 25° C, gr

E = peso del envase + agua + muestra a 25° C, gr.



### 3.5.8. Cálculo del Porcentaje de vacíos de aire

Este cálculo se realiza con los datos de densidad Bulk y el peso específico máximo teórico, para determinar este porcentaje se obtiene de dos formas.

$$\text{Porcentaje de vacíos de aire} = 100 \times \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right)$$

O

$$\text{Porcentaje de vacíos de aire} = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

$G_{mb}$  = Peso específico Bulk (peso específico aparente)

$G_{mm}$  = Peso específico teórico máximo

### 3.5.9. Porcentaje de vacíos de agregados

$$V_{am} = 100 - \% V_{agr}$$

Donde:

$\% V_{agr}$  = % volumen de agregados

### 3.5.10. Volumen efectivo del asfalto

$$V_{ea} = \frac{V_a}{V_{am}} \times 100$$

Donde:

$V_a$  = volumen del asfalto

$V_{am}$  = Vacíos en agregados

### 3.5.11. Ensayo de estabilidad y flujo

Se coloca el espécimen a un baño de agua por un tiempo entre 30 a 40 minutos. Limpiamos por completo las barras, guías y el molde de ensayo, antes de proceder necesitamos lubricar las barras, guías lo cual permitirá al segmento de la mordaza deslizarse sin problemas. La temperatura del molde de ensayo se mantendrá entre 21.2 y 38.8 °C, sacamos el espécimen del baño de agua y

colocamos bien centrada en el segmento inferior de la mordaza, colocamos el medidor de flujo y ajustar a 0, y aplicamos la carga sobre el espécimen, con una deformación constante de 50.80 mm por minuto, hasta que se produzca la falla y anotamos el valor máximo de la carga.

### 3.5.12. Materiales y dosificación para la fabricación de mezcla asfáltica

Cuadro 38: Dosificación para mezcla convencional

<b>INSUMOS</b>	<b>PORCENTAJES %</b>
Agregado fino	50.00
Agregado grueso	48.00
Cal hidráulica	2.00

En el siguiente cuadro se muestra el ensayo Marshall con de 4.5 % de Cemento Asfáltico

Cuadro 39: Diseño de mezcla convencional con 4.5% de C.A.

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	4.50			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.010			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.36	6.36	6.31	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1196.8	1197.8	1191.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1199.9	1201.6	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	681.1	683.3	682.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	518.8	518.3	512.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	3.1	3.8	4.0	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.307	2.311	2.323	2.314
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.450	2.450	2.450	
17	ABSORCIÓN	%	0.598	0.733	0.780	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = (16-15/16*100)	%	5.840	5.673	5.184	5.6
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm <sup>3</sup>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.4	15.2	14.8	15.1
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	62.0	62.7	64.9	63.2
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.626			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.35			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	4.50			
25	<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	<b>2.95</b>	<b>2.90</b>	<b>3.00</b>	<b>2.95</b>
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	984.5	1002.8	996.2	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.99	0.99	1.01	
28	<b>ESTABILIDAD CORREGIDA</b>	<b>kg</b>	<b>974</b>	<b>994</b>	<b>1006</b>	<b>991</b>
29	<b>ESTABILIDAD / FLUJO</b>	<b>kg/cm</b>	<b>3302</b>	<b>3427</b>	<b>3353</b>	<b>3361</b>

En el cuadro 40 se muestra el ensayo Marshall con de 5.0 % de Cemento Asfáltico

Cuadro 40: Diseño de mezcla convencional con 5.0 % de C.A

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.00			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.60			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.50			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.90			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.01			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.35	6.31	6.28	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1201.7	1197.3	1195.7	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1205.2	1201.7	1201.9	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE EN AGUA	gr	688.8	690.1	691.2	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	516.4	511.6	510.7	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	3.5	4.4	6.2	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10/13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.327	2.340	2.341	2.336
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.450	2.455	2.455	
17	ABSORCIÓN	%	0.678	0.860	1.214	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS = (16-15/16*100)	%	5.02	4.490	4.449	4.7
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm <sup>3</sup>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.1	14.6	14.6	14.7
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	66.7	69.2	69.4	68.5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.655			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.76			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO	%	5.00			
25	<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	<b>3.25</b>	<b>3.15</b>	<b>3.30</b>	<b>3.23</b>
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1189.5	1194.2	1182.5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.00	1.01	1.02	
28	<b>ESTABILIDAD CORREGIDA</b>	<b>kg</b>	<b>1186</b>	<b>1211</b>	<b>1203</b>	<b>1200</b>
29	<b>ESTABILIDAD / FLUJO</b>	<b>kg/cm</b>	<b>3651</b>	<b>3844</b>	<b>3644</b>	<b>3713</b>

En el cuadro 41 se muestra el ensayo Marshall con de 5.5 % de Cemento Asfáltico

Cuadro 41: Diseño de mezcla convencional con 5.5 % de C.A.

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.50			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.36			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.25			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.89			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.01			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.24	6.31	6.4	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1192.2	1201.3	1201.5	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1196.5	1204.3	1205.0	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	689.0	692.2	690.8	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	507.5	512.1	514.2	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	4.3	3.0	3.5	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.349	2.346	2.337	2.344
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.430	2.440	2.440	
17	ABSORCIÓN	%	0.847	0.586	0.681	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS = (16-15/16*100 )	%	3.33	3.457	3.827	3.5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm <sup>3</sup>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	14.7	14.8	15.2	14.9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	77.4	76.7	74.7	76.3
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.659			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.82			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO	%	5.50			
25	<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	<b>3.40</b>	<b>3.50</b>	<b>3.35</b>	<b>3.42</b>
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1168.3	1165.9	1158.4	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.03	1.01	1.00	
28	<b>ESTABILIDAD CORREGIDA</b>	<b>kg</b>	<b>1201</b>	<b>1180</b>	<b>1164</b>	<b>1182</b>
29	<b>ESTABILIDAD / FLUJO</b>	<b>kg/cm</b>	<b>3532</b>	<b>3372</b>	<b>3475</b>	<b>3460</b>

En el cuadro 42 se muestra el ensayo Marshall con de 6.0 % de Cemento Asfáltico  
Cuadro 42: Diseño de mezcla convencional con 6.0 % de C.A.

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	6.00			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.12			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.00			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.88			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.01			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.30	6.31	6.2	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1195.0	1197.0	1201.6	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1199.4	1199.4	1205.7	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	686.0	686.2	699.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	513.4	513.2	506.2	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	4.4	2.4	4.1	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.328	2.332	2.374	2.345
16	PESO ESPECÍFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.420	2.420	2.400	
17	ABSORCIÓN	%	0.857	0.468	0.810	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS = (16-15/16*100)	%	3.80	3.636	1.901	3.1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm <sup>3</sup>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.9	15.8	14.3	15.3
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	76.1	77.0	86.7	79.9
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.657			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.79			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO	%	6.00			
25	FLUJO	mm	3.70	3.85	3.80	3.78
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1010	1022	1005	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.01	1.01	1.03	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	1018	1031	1038	1029
29	ESTABILIDAD / FLUJO	kg/cm	2751	2677	2731	2719

Luego de la obtención de datos de los cuatro puntos, se realizó las gráficas para obtener su contenido óptimo de asfalto.

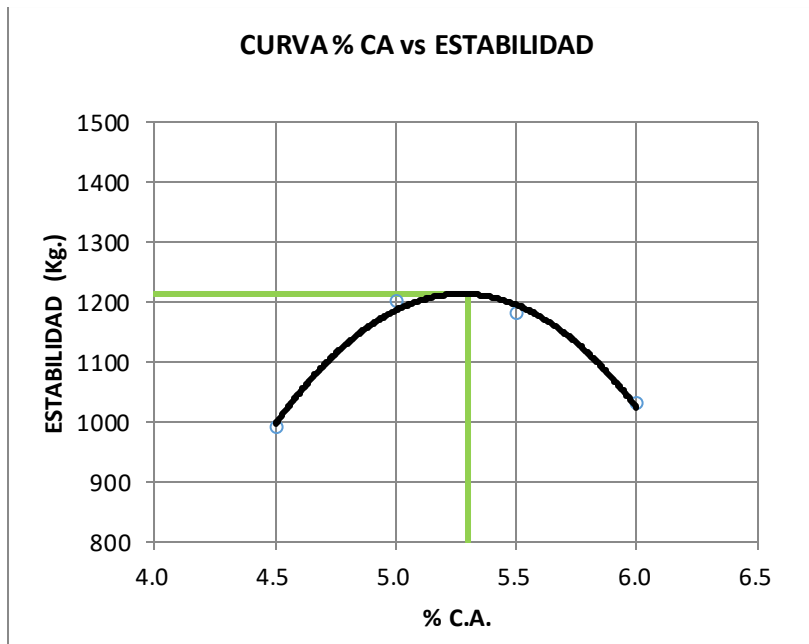


Figura 6: Estabilidad vs contenido de cemento asfáltico

% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
ESTAB C/C.	991	1200	1182	1029

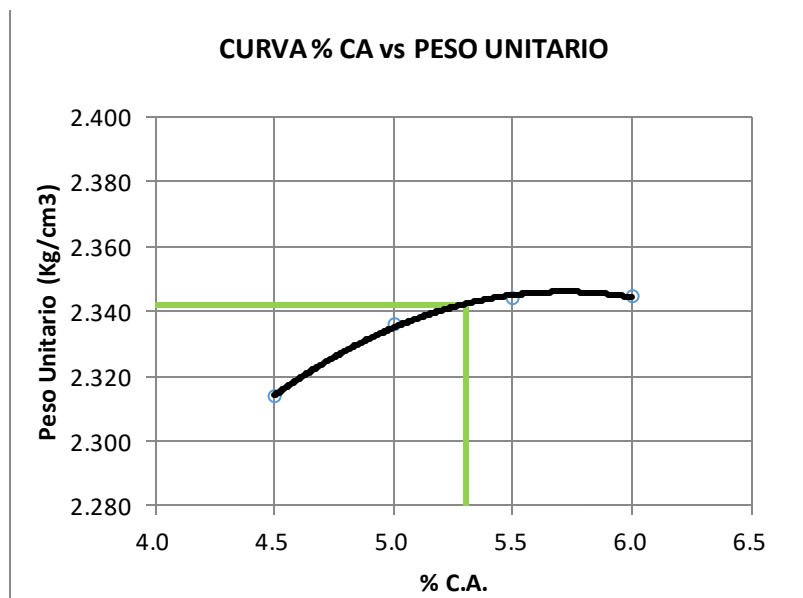


Figura 7: Peso unitario vs contenido de cemento asfáltico

% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
PESO UNIT.	2.314	2.336	2.344	2.345

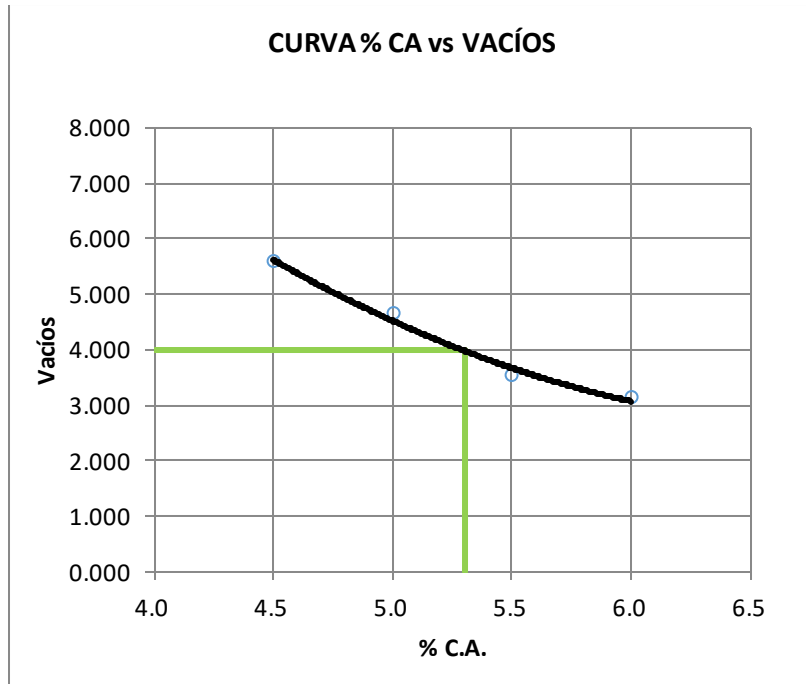


Figura 8: Porcentaje de vacíos vs contenido de cemento asfáltico

% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
VACIOS	5.566	4.653	3.538	3.112

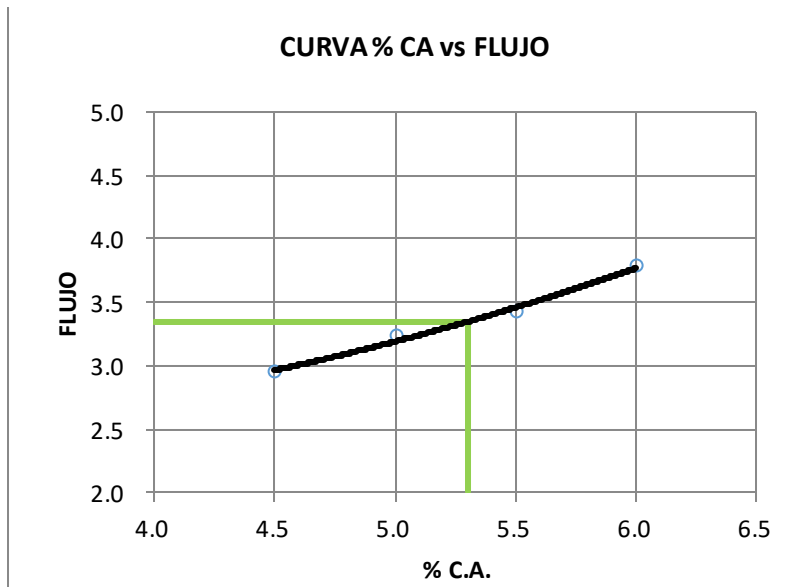


Figura 9: Flujo vs contenido de cemento asfáltico

% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
FLUJO	3.0	3.2	3.4	3.8



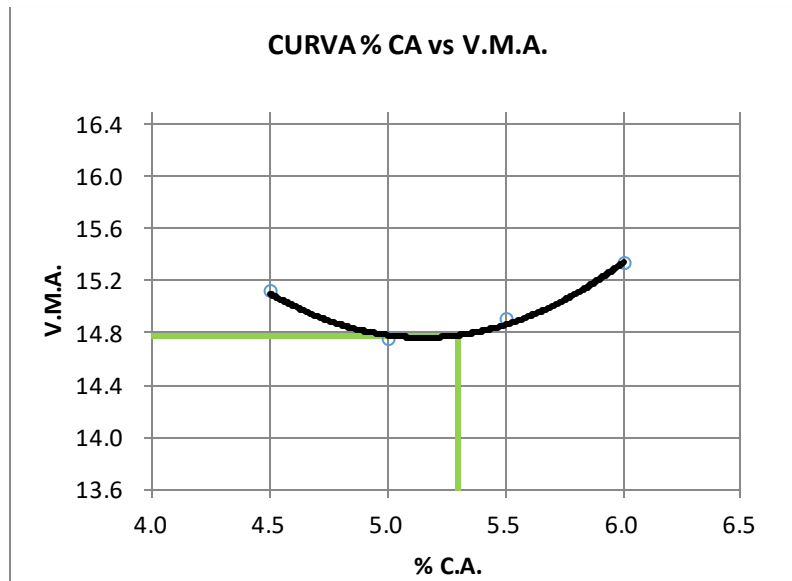


Figura 10: Porcentaje V.M.A vs contenido de cemento asfáltico

% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
VMA	15.1	14.7	14.9	15.3

Cuadro 43: Resultados ensayo Marshall

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA</b>		
Optimo Contenido de C.A	(%)	5.30
Estabilidad	(kg.)	1215
Peso Unitario	(kg/m <sup>3</sup> )	2.342
Vacíos de Aire	(%)	4.00
Flujo	(mm)	3.35
V.M.A.	(%)	14.78
Estabilidad/Flujo	(kg/cm)	3626.87

### 3.6. Diseño Marshall mezcla asfáltica modificada con fibra de polipropileno

En la realización de este ensayo se ha utilizado el contenido óptimo de asfalto que se halló en el diseño de la mezcla convencional y la metodología y ensayos es la misma descrita en el numeral 3.5 y para la realización de ensayo Marshall se realizaron 4 especímenes por cada porcentaje de fibra de polipropileno, los especímenes tienen 63.5 mm de altura y 101.6 de diámetro.

Cuadro 44: Dosificación para mezcla modificada

INSUMOS	PORCENTAJES %
Agregado fino	50.00
Agregado grueso	48.00
Cal hidráulica	2.00
Fibra de polipropileno	0.5, 1.5 y 2.5

Cuadro 45: Diseño de mezcla modificada con 0.5 % de fibra de polipropileno

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.30			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.010			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.40	6.40	6.4	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1193.3	1195.2	1191.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1198.4	1199.5	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	678.1	679.3	677.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	520.3	520.2	517.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	5.1	4.3	4.0	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.293	2.298	2.301	2.297
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.420	2.420	2.420	
17	ABSORCIÓN	%	0.980	0.827	0.772	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS = (16-15/16*100)	%	5.250	5.041	4.917	5.1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.9	15.7	15.6	15.7
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	66.9	67.9	68.4	67.7
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.647			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.65			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO	%	5.30			
<b>25</b>	<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	<b>2.95</b>	<b>2.90</b>	<b>3.00</b>	<b>2.95</b>
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1180	1168	1160.5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.98	0.98	0.99	
<b>28</b>	<b>ESTABILIDAD CORREGIDA</b>	<b>kg</b>	<b>1161</b>	<b>1150</b>	<b>1152</b>	<b>1154</b>
<b>29</b>	<b>ESTABILIDAD / FLUJO</b>	<b>kg/cm</b>	<b>3937</b>	<b>3965</b>	<b>3840</b>	<b>3914</b>

Cuadro 46. Diseño de mezcla modificada con 1.5 % de fibra de polipropileno

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.30			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.010			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.35	6.35	6.31	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1195.5	1193.8	1192.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1198.8	1196.8	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	682.1	680.3	681.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	516.7	516.5	513.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	3.3	3.0	3.0	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.314	2.311	2.321	2.315
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.410	2.412	2.412	
17	ABSORCIÓN	%	0.639	0.581	0.584	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS = (16-15/16*100 )	%	3.980	4.108	3.693	3.9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm <sup>3</sup>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.1	15.2	14.8	15.1
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	73.6	73.0	75.1	73.9
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.637			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.50			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO	%	5.30			
25	<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	<b>3.16</b>	<b>3.25</b>	<b>3.18</b>	<b>3.20</b>
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1282.5	1254.5	1275.7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.00	1.00	1.01	
28	<b>ESTABILIDAD CORREGIDA</b>	<b>kg</b>	<b>1278</b>	<b>1251</b>	<b>1284</b>	<b>1271</b>
29	<b>ESTABILIDAD / FLUJO</b>	<b>kg/cm</b>	<b>4044</b>	<b>3849</b>	<b>4037</b>	<b>3977</b>

Cuadro 47: Diseño de mezcla modificada con 2.5 % de fibra de polipropileno

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.30			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECÍFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	1.010			
6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.590			
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm <sup>3</sup>	2.630			
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	gr/cm <sup>3</sup>	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm <sup>3</sup>	6.40	6.40	6.31	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1198.3	1200.1	1191.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1202.2	1204.3	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	684.1	686.3	682.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm <sup>3</sup>	518.1	518.0	512.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (11 - 10)	gr	3.9	4.2	4.0	
15	PESO ESPECÍFICO BULK BRIQUETA (10/13)	gr/cm <sup>3</sup>	2.313	2.317	2.323	2.318
16	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm <sup>3</sup>	2.395	2.395	2.395	
17	ABSORCIÓN	%	0.753	0.811	0.780	
18	PORCENTAJE DE VACÍOS = (16-15/16*100)	%	3.420	3.257	3.006	3.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>		2.603		
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.1	15.0	14.8	15.0
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	77.4	78.3	79.6	78.4
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm <sup>3</sup>	2.616			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.19			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	5.30			
<b>25</b>	<b>FLUJO</b>	<b>mm</b>	<b>3.54</b>	<b>3.48</b>	<b>3.35</b>	<b>3.46</b>
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1136	1152.5	1143	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.99	0.99	1.01	
<b>28</b>	<b>ESTABILIDAD CORREGIDA</b>	<b>kg</b>	<b>1127</b>	<b>1143</b>	<b>1154</b>	<b>1141</b>
<b>29</b>	<b>ESTABILIDAD / FLUJO</b>	<b>kg/cm</b>	<b>3182</b>	<b>3285</b>	<b>3445</b>	<b>3304</b>

Luego de la obtención de datos de los cuatro puntos, se realizó las gráficas para obtener su contenido óptimo de fibra de polipropileno.

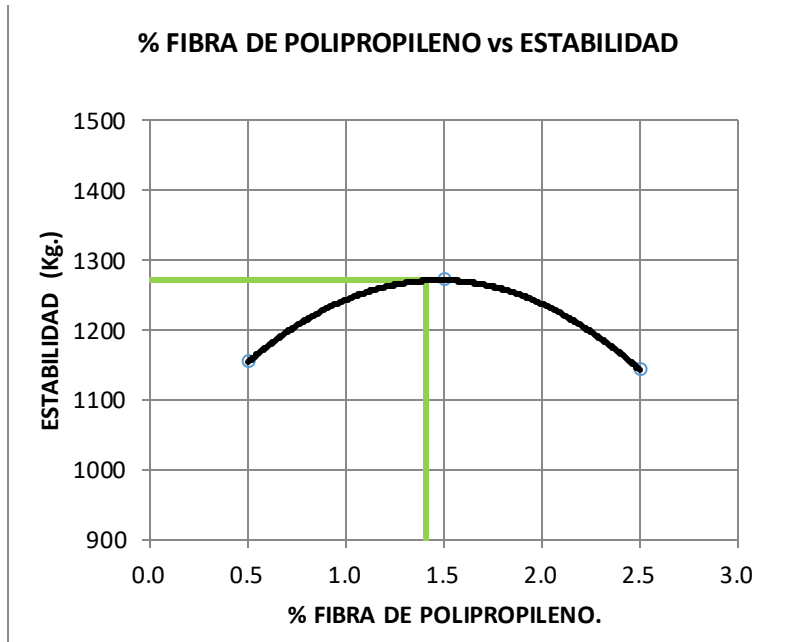


Figura 11: Estabilidad vs % de fibra de polipropileno

% FIBRA POLIPROP.	0.5	1.5	2.5
ESTAB C/C.	1154	1271	1141

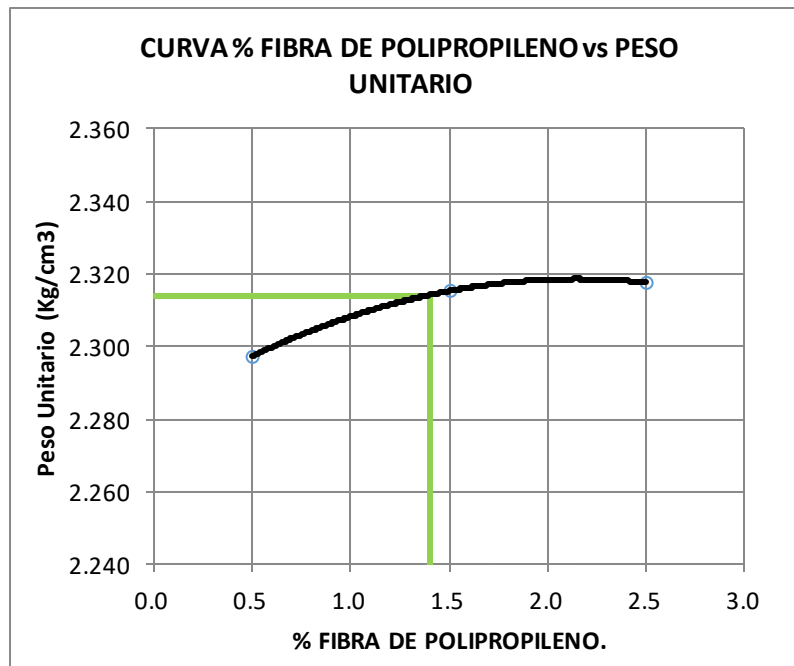


Figura 12: Peso unitario vs % de fibra de polipropileno

% FIBRA POLIPROP.	0.5	1.5	2.5
PESO UNIT.	2.297	2.315	2.318

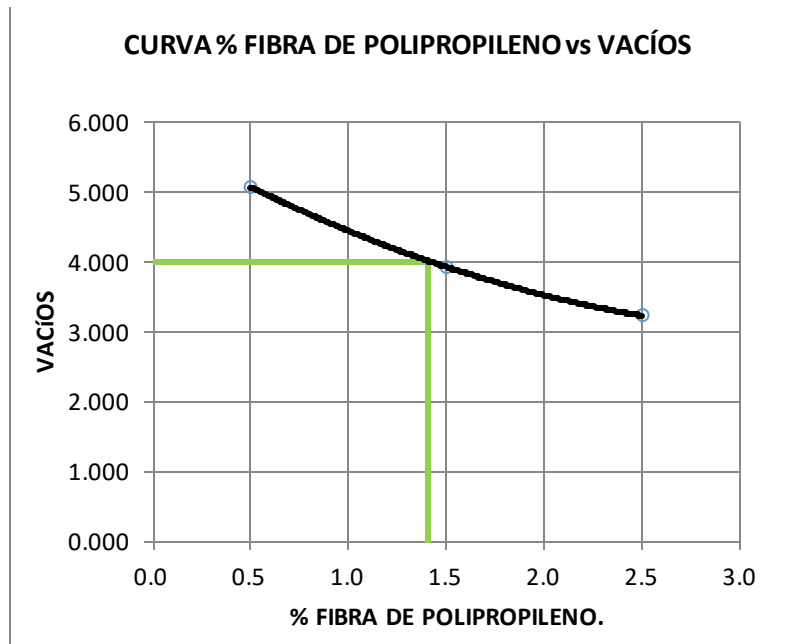


Figura 13: Porcentaje de vacíos vs % de fibra de polipropileno

% FIBRA POLIPROP.	0.5	1.5	2.5
VACÍOS	5.070	3.297	3.228

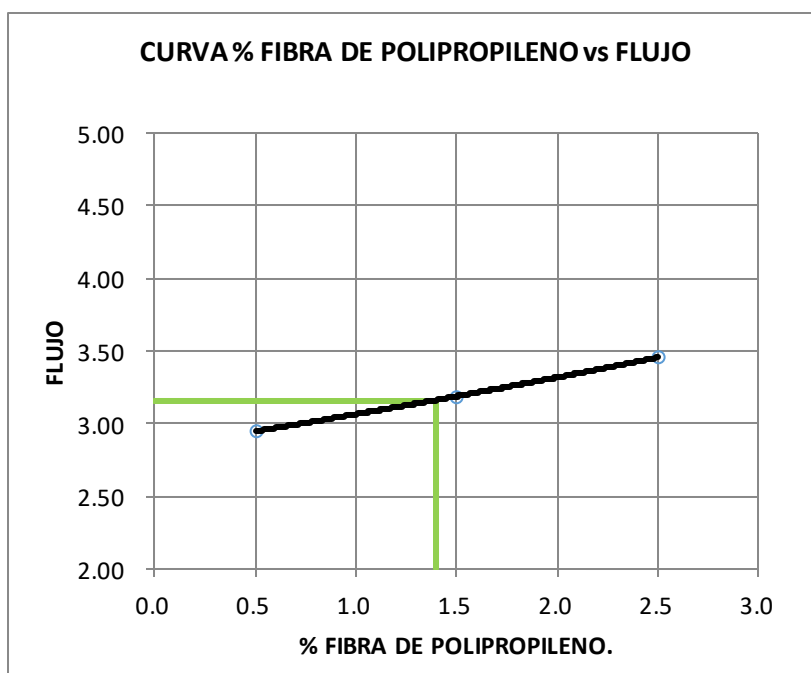


Figura 14: Flujo vs % de fibra de polipropileno

% FIBRA POLIPROP.	0.5	1.5	2.5
FLUJO	2.95	3.20	3.46

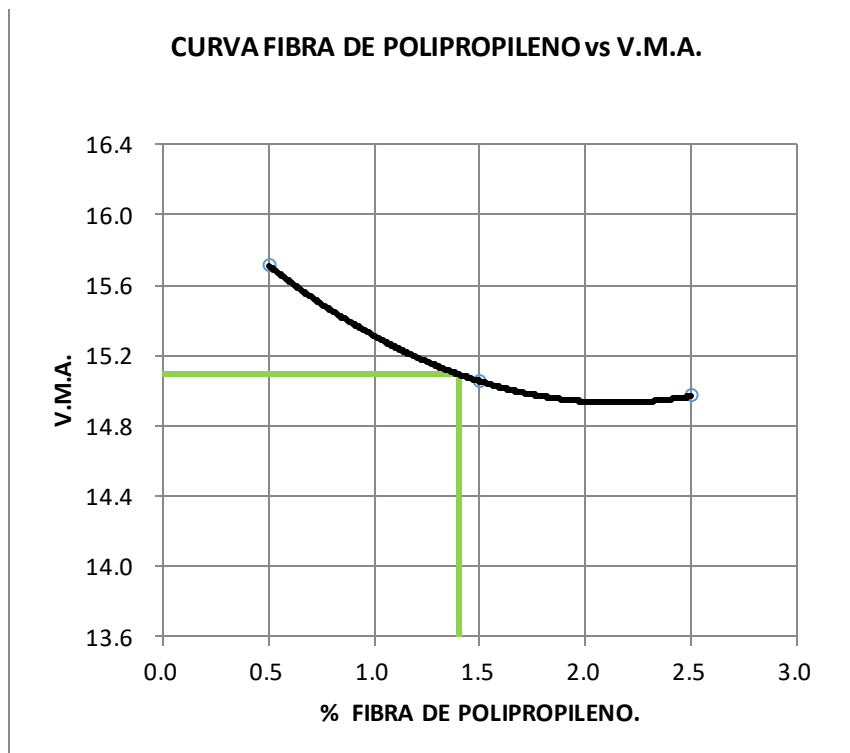


Figura 15: Porcentaje V.M.A vs % de fibra de polipropileno

% FIBRA POLIPROP.	0.5	1.5	2.5
V.M.A.	15.7	15.1	15.0

Cuadro 48: Resultado ensayo Marshall

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA</b>		
Óptimo Contenido De C.A.	(%)	5.30
Estabilidad	(kg)	1270.0
Peso Unitario	(kg/m <sup>3</sup> )	2.314
Vacíos De Aire	(%)	4.00
Optimo Contenido De Fibra De Polipropileno	(%)	1.40
Flujo	(mm)	3.18
V.M.A.	(%)	15.10
Estabilidad/Flujo	(kg/cm)	3993.71



Tabla 5: Comparación de resultados entre mezcla asfáltica convencional y modificada

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA			
MARSHALL		CONVENCIONAL	MODIFICADO
Óptimo Contenido de C.A	(%)	5.30	5.30
Estabilidad	(kg)	1215.0	1270.0
Peso Unitario	(kg/m <sup>3</sup> )	2.342	2.314
Vacíos de Aire	(%)	4.00	4.00
Óptimo Contenido De Fibra De Polipropileno	(%)		1.40
Flujo	(mm)	3.35	3.18
V.M.A.	(%)	14.78	15.10
Estabilidad/Flujo	(kg/cm)	3626.87	3993.71

### 3.7. Pérdida por desgaste

Se realizó el ensayo a 16 especímenes tipo Marshall mediante el ensayo de cántabro de pérdida por desgaste (4 para mezcla convencional, 4 mezcla con adición de 0.5% de fibra polipropileno, 4 mezcla con 1.5% de fibra polipropileno y 4 mezcla con 2.5% de fibra de polipropileno), este ensayo se realizó siguiendo la norma técnica del ministerio de trasportes (MTC E 515).

Los equipos utilizados de compactación (descrito en el ensayo Marshall), máquina de los Ángeles, termómetro para medir temperatura de los componentes de la mezcla, balanza de 6 kg con 1 gr de sensibilidad.

El espécimen tendrá un peso aproximado de 1200 gramos, y será elaborado de acuerdo a la metodología Marshall, y su compactación será de 50 golpes por lado. Se mantendrá a temperatura de  $22.5 \pm 7.5$  °C que es la temperatura de ensayo requerida durante 6 horas, luego se pesa cada espécimen antes del ensayo, lo cual se anotó como un valor, P1.

Seguidamente se coloca el espécimen a ensayar en el tambor de la máquina de los ángeles, pero previamente retirado la carga abrasiva de las bolas. Se hace girar el tambor una velocidad de 30 a 33 rpm, durante 300 vueltas.

Finalizado el ensayo, se procede a retirar los especímenes para luego ser pesados lo cual se especifica como un valor P2.

El cálculo de la pérdida por desgaste se obtiene a través de la siguiente fórmula

$$P = \frac{P1-P2}{P1} \times 100$$

Donde:

P = valor de la pérdida por desgaste, en %

P1 = Peso inicial del espécimen, en gramos (gr)

P2 = Peso final del espécimen, en gramos (gr)

Cuadro 49: Resultado pérdida por desgaste

BRIQUETA/ % FIBRA	CÓDIGO	PESO 1	N° VUELTAS	PESO 2	% DE DESGASTE	% PROMD. DE DESGASTE
<b>G1</b>	P.A	1173.8	300	1140.3	2.85	<b>4.00</b>
	P.B	1190.7		1160.3	2.55	
	P.C	1232.7		1150.5	6.67	
	P.C	1166.4		1120.6	3.93	
<b>G2 (0.5 %)</b>	0.5 % A	1203.6	300	1182.2	1.78	<b>3.17</b>
	0.5 % B	1194.7		1133.3	5.14	
	0.5 % C	1219.9		1177.1	3.51	
	0.5 % D	1191.2		1164.4	2.25	
<b>G3 (1.5 %)</b>	1.5 % A	1187.4	300	1129.9	4.84	<b>3.04</b>
	1.5 % B	1191.5		1153.2	3.21	
	1.5 % C	1189.8		1170	1.66	
	1.5 % D	1199.6		1170.4	2.43	
<b>G4 (2.5 %)</b>	2.5 % A	1195.1	300	1165	2.52	<b>3.36</b>
	2.5 % B	1197		1165.7	2.61	
	2.5 % C	1193.9		1158.5	2.97	
	2.5 % D	1194.6		1130.9	5.33	

- G1: grupo control (0.0 % de Fibras de Polipropileno)
- G2: grupo de estudio (0.5 % de Fibra de Polipropileno)
- G3: grupo de estudio (1.5 % de Fibra de Polipropileno)
- G4: grupo de estudio (2.5 % de Fibra de Polipropileno)

### 3.8. Comparación estadística de las mezclas asfálticas.

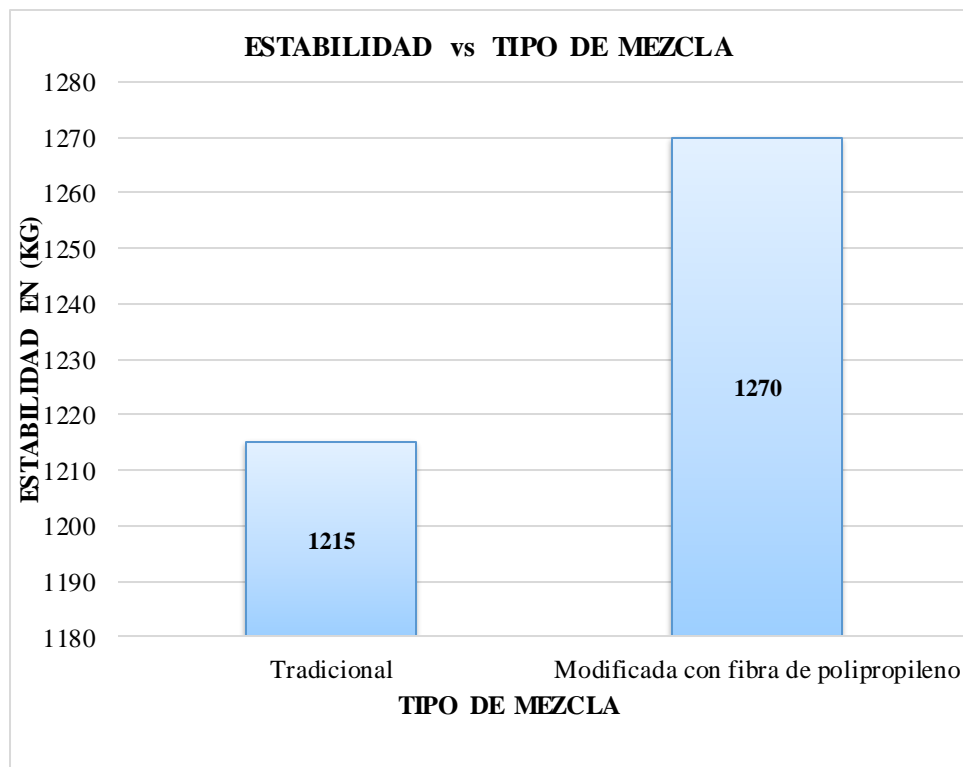


Figura 16: Estabilidad (kg) vs Tipo mezcla

Interpretación:

En la figura 16 se observa que en la mezcla asfáltica modificada con fibra de polipropileno existe un incremento en la estabilidad, soportando una carga adicional de 55 Kg, lo que representa un 2.21 % con respecto a la mezcla convencional, esto indica que la adición de fibras de polipropileno ayuda a mejorar la resistencia para evitar deformaciones permanentes.

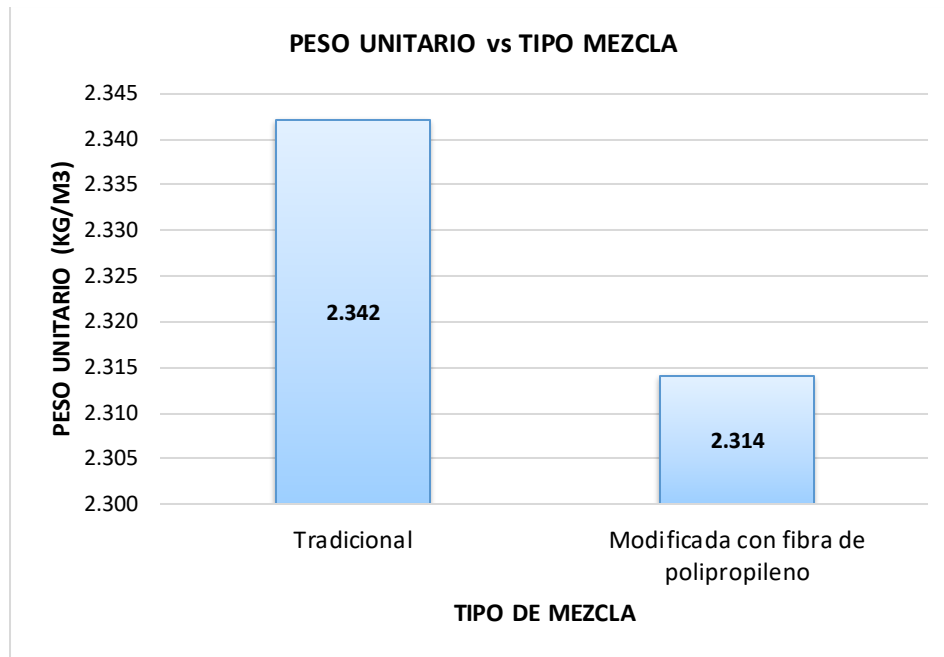


Figura 17: Peso unitario vs tipo de mezcla

Interpretación:

En la mezcla asfáltica con fibra de polipropileno se observa que el peso unitario ha disminuido en un 0.60 % con respecto a la mezcla tradicional, por lo que hay poca distinción de resultado, por lo que no se tendría un efecto en la obtención de un rendimiento duradero.

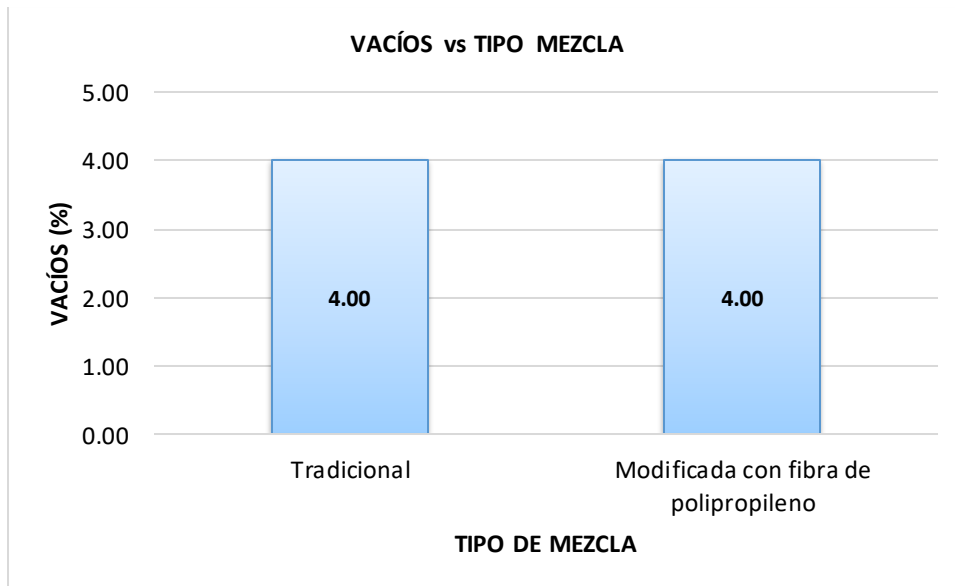


Figura 18: % Vacíos vs Tipo mezcla

Interpretación:

Se observa que ambas mezclas tienen un adecuado porcentaje de vacíos. El porcentaje permitido está entre 3 y 5%, siendo un óptimo un 4%, ya que si tienen un 3% de vacíos se tendrá baja permeabilidad de la mezcla que al pasar carga repetida hará que el asfalto sea exprimido hacia la superficie de rodadura y un alto porcentaje de estos generan deterioro, o ingreso de aire y agua.

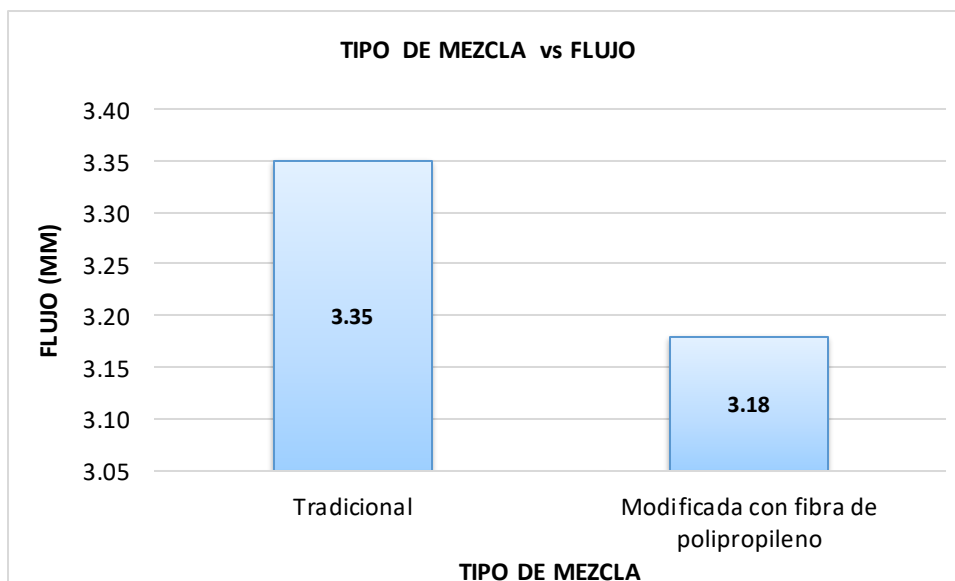


Figura 19: Flujo vs Tipo mezcla

Interpretación:

Se muestra que la mezcla asfáltica con fibra de polipropileno presenta una ligera reducción en el flujo de 2.92 % comparado a la mezcla tradicional, esto significa que además de proporcionar propiedades elásticas a la mezcla, también contribuye a la rigidez, obteniendo una mezcla con propiedades muy importantes para la resistencia ante las deformaciones permanentes.

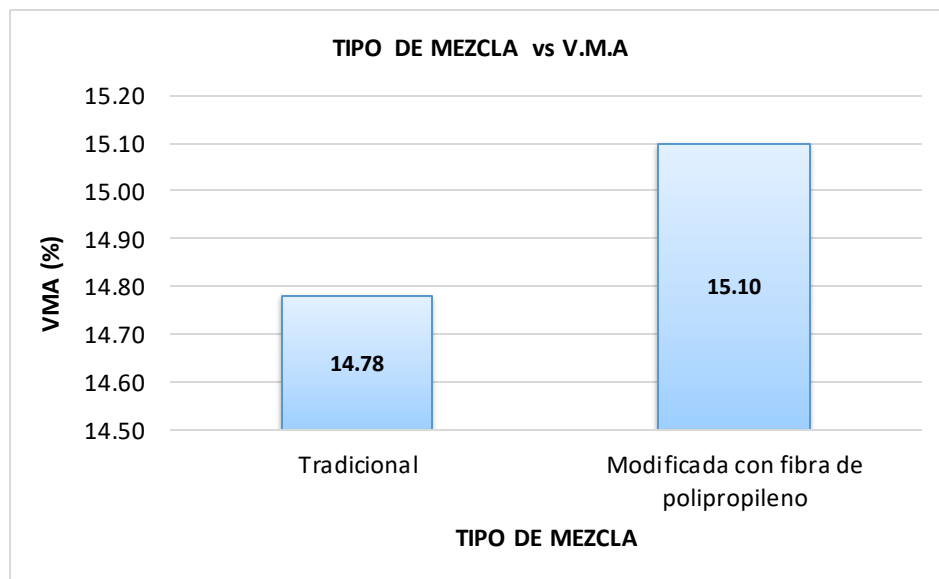


Figura 20: V.M.A vs Tipo de mezcla

Interpretación:

Se puede notar que, en esta medida, existe una diferencia entre ambas mezclas. Por un lado, la mezcla tradicional presentó un V.M.A de 14.78%, mientras que la mezcla experimental presentó un valor de 15.05%, representando un incremento de 0.91%. Por lo tanto, se puede verificar que la fibra de polipropileno en la mezcla aporta un mayor vacío en el agregado mineral. Ya que un bajo vacío en este tendría problemas de baja durabilidad, según el MS-22 del instituto del asfalto.

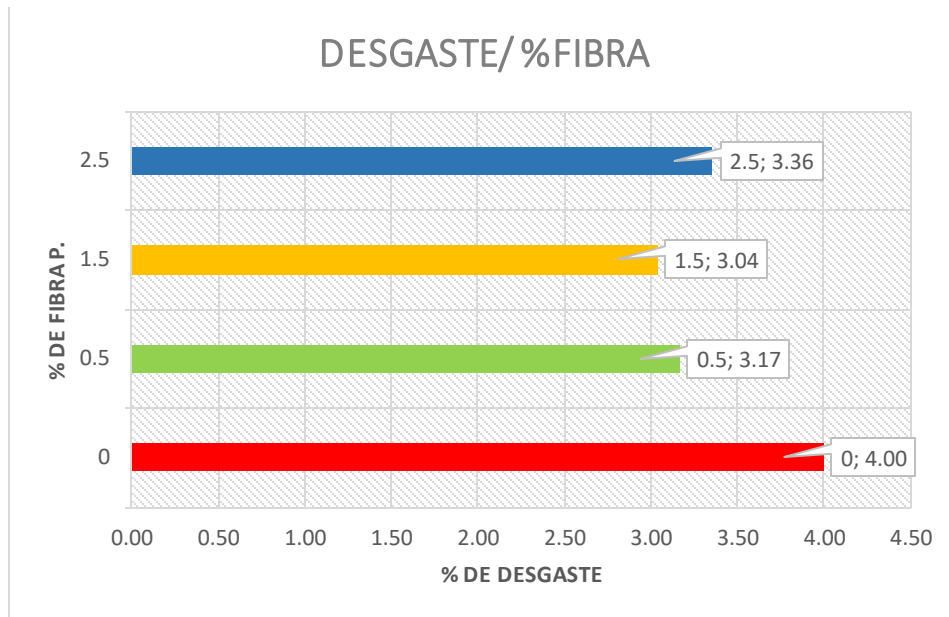


Figura 21: Desgaste de Especímenes

**Interpretación:**

En la figura 21, se representa el valor del desgaste de las especímenes ensayadas por cada grupo de muestra, las cuales consistieron en 4 grupos de análisis, G1 (0.0% de fibra de polipropileno), G2 (0.5% de fibra de polipropileno), G3 (1.5% de fibra de polipropileno), G4 (2.5% de fibra de polipropileno), de los cuales se observó que la mezcla experimental con 1.5% de fibra presenta un 3.04% de pérdida de material, mientras que en la mezcla convencional presentó 4% de pérdida, representando un 0.96% más con respecto a la mezcla modificada. Esto indica que la fibra de polipropileno ayuda a aumentar la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Tabla 6: Análisis A nova- HSD Tukey por grupos

HSD Tukey <sup>a</sup>			
VALOR	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
G3	4		3,0350
G2	4		3,1700
G4	4		3,3575
G1	4		4,0000
Sig.			,810
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.			

Una vez realizado un análisis estadístico se muestra relación en todos los grupos, evaluado estadísticamente aplicando ANOVA – POST HOC-Tukey. Pero porcentualmente existe diferencia, tal como se muestra en la tabla 6, donde el G3 es el que más diferencia tiene con respecto al grupo patrón

Tabla 7: Porcentaje de variación con respecto al grupo de control

Grupos	Probetas	Desgaste	% De Variación
G1	4	4.00	0
G2	4	3.17	2.1
<b>G3</b>	<b>4</b>	<b>3.04</b>	<b>2.4</b>
G4	4	3.36	1.6



#### IV. DISCUSIÓN

A partir de los resultados encontrados en esta investigación, aceptamos la hipótesis planteada, donde establece que la fibra de polipropileno en distintos porcentajes aumenta la estabilidad y mantiene dentro de los parámetros requeridos el flujo de una mezcla asfáltica en caliente, así también ayuda a reducir la pérdida por desgaste.

Estos resultados guardan relación con la investigación de Mejía y Sierra (2017), denominada Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso de estudio universidades de Bogotá D.C, donde planteo identificar y caracterizar las investigaciones realizadas en los últimos 10 años aplicando los ensayos de Abrasión de Ángeles, ensayos de Marshall y caracterización de mezclas bituminosas, sus resultados obtenidos de relación de cemento asfáltico % vs. E/F (Kg/mm) para 5% de CA adicionando 0.2% de polipropileno sometidos al laboratorio Marshall presenta una estabilidad/flujo de 1,169.01kg/mm, en comparación con esta investigación evaluando una mezcla con 5.3% de CA tuvo una relación cemento asfáltico % vs. E/F (Kg/mm) de 4006.25 Kg/mm A pesar que la cantidad de fibra usada no es el mismo porcentaje en ambos casos se obtuvo una mejora en las condiciones de la mezcla.

También Reyes, Troncoso y Liscano (2005), en su investigación denominada Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras, determinó la relación de estabilidad/flujo de una mezcla asfáltica modificada con 0.15%, 0.30%, 0.45%, 0.60%, y 0.75% de fibra de polipropileno a 50 y 75 golpes por cara de briqueta, de esto obtuvo la relación E/F de 480 kg/mm, 509 kg/mm para un porcentaje de 0.6, 0.75 respectivamente a 50 golpes y relación E/F de 479 kg/mm, 533 kg/mm para un porcentaje de 0.60, 0.75 % respectivamente, de estos dos porcentajes incremento la estabilidad pero la relación E/F admisible. En la Tabla 1, Requisito de mezclas asfálticas en caliente, indica un valor mínimo de estabilidad para una vía de tráfico pesado de 8.15 KN y un flujo de 2-4 mm

En la Tabla 5, se representa la mezcla asfáltica en caliente con un 5.3% de cemento asfáltico óptimo, de acuerdo al ensayo Marshall, la mezcla patrón tiene una estabilidad de 1215 Kg y flujo 3.35mm, al ser modificada con 1.5 % de fibra de polipropileno con

respecto a cemento asfáltico resultó una estabilidad de 1270 Kg y flujo 3.20 mm. En comparación con la investigación de Burbano (2012), llamada Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico modificado y normal, a través del método Marshall, empleando agregados pétreos y asfalto, a partir de los ensayos realizados determinó un contenido óptimo de CA de 5.75%, con una estabilidad de 1351 Kg, dicha mezcla asfáltica fue modificada con 0.35 % de fibra de polipropileno de la cual obtuvo la mayor estabilidad de 1360 Kg y flujo de 2.7 mm

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo de caracterización de mezclas asfálticas donde, se obtuvo un 3.04% de desgaste para la mezcla modificada con 1.5 % de fibra de polipropileno, siendo el 1.5 % de fibra también que da una mejor estabilidad y flujo de la mezcla patrón con 5.3% de CA. En comparación a los resultados de la investigación de Landinez, Restrepo y Lázaro (2017), llamada Análisis físico-mecánico de mezclas densas en caliente MDC – 19 con adición de tiras de geotextil de 1 cm, quienes realizaron el ensayo de caracterización de las mezclas asfálticas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste a 5 briquetas tipo Marshall siendo 1 briketa por mezcla convencional, 1 mezcla modificada 0,25%, 1 mezcla modificada 0,5%, 1 mezcla modificada 1,0%, 1 mezcla modificada 1,25%). Sus resultados realizados a la mezcla convencional, y a cada una de las mezclas modificadas con los diferentes porcentajes correspondientes, evidencio que la mezcla modificada con el 0,5% de geotextil, presenta una menor pérdida que la mezcla convencional, así mismo la mezcla modificada con el 1,0% de geotextil presenta la mayor pérdida de material por desgaste en comparación con las todas las mezclas analizadas.

En la investigación de Vanegas (2016), Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras de polipropileno, realizo la mezcla con el asfalto 6.38 % y el % de fibra de 0.05%, 0.10% y 0.15%. Los resultados encontrados fueron un aumento en módulo dinámico en un 14% en la adición de 0.05%, 22% en la adición de 0.10% y 9% con la adición de 0.15% den peso de la fibra de polipropileno, por otro lado, los resultados del ensayo de fatiga a tensión – compresión tenemos que 0.05% de adición presenta una falla a una deformación unitaria de 120 u, el 010% presenta una falla 200 u y el 0.15% presenta una falla a 90 u de fibra con esto se llegó a concluir que hubo un

aumento en módulo dinámico de la mezcla, en el ensayo fatiga se concluyó que la mezcla con 0.10 de polipropileno resistió mayor deformación antes de la ruptura que fue 200 u. Esta investigación no guarda relación directa con la nuestra por los ensayos realizados, pero, se puede decir a partir de sus resultados y nuestros resultados que las fibras de polipropileno aportan a las mezclas asfálticas cualidades como un aumento de la estabilidad, un flujo dentro de los rangos que establece las el Manual de Carreteras EG-2013, así también la resistencia a la ruptura y el aumento del módulo dinámico.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo al desarrollo de la investigación se concluye, que el comportamiento de la fibra de polipropileno en la mezcla asfáltica en caliente es como un elemento abrazante de partículas en el pavimento convencional, en una dosificación de 1.4% y 5.3% de cemento asfáltico.

En la evaluación de los especímenes de mezcla asfáltica tradicional con 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 % de cemento asfáltico se obtuvieron resultados de estabilidad de 991, 1200, 1182, 1029 kg y flujos de 3.0, 3.2, 3.4, 3.8 mm, en la mezcla modificada con 0.5, 1.5, 2.5 % de fibra de polipropileno se produjeron estabilidades de 1154, 1271, 1141 kg y flujos de 2.95, 3.19, 3.46 mm.

De la relación de gráficos, para la mezcla convencional se obtuvo una estabilidad 1215 kg con un flujo de 3.35 mm y un 4% de vacíos de aire, en cambio en la mezcla modificada la estabilidad fue 1270 kg con un flujo de 3.16 mm y un 4% de vacíos; con lo que se concluyó que la adición de 1.4% de fibra de polipropileno, presenta un incremento en la estabilidad de 2.21% en comparación con la mezcla convencional, esto indica que su incorporación ayuda a mejorar la resistencia.

En la evaluación realizado a los especímenes de mezcla convencional, se obtuvo una pérdida de material para el grupo control G1 de 4.0%, y para los especímenes de mezcla modificada con 0.5%, 1.5%, 2.5% fibras de polipropileno se obtuvo una pérdida por grupo de 3.17% G2, 3.04% G3, 3.36% G4.

En los análisis de mezcla convencional, en comparación con la mezcla modificada con 1.5% de fibra de polipropileno presento menor pérdida de material y mayor resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Del desarrollo de los ensayos Marshall (estabilidad, flujo y peso unitario) se pudo concluir que mezcla asfáltica con 1.4% de fibra de polipropileno, mejora la resistencia en 2.21% en comparación con mezcla convencional, también se determino que la mezcla modificada con 1.5% de fibra polipropileno reduce en un 0.96% la pérdida de material originada por el agua, viento, arenas y el tráfico; confirmando así un aumento en la durabilidad de la carpeta asfáltica.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Los agregados ensayados deben ser los mismos a utilizarse en el diseño de mezcla asfáltica, debido que a un cambio de estos afectaría en el diseño, además deben cumplir con las especificaciones técnicas y la normatividad de gradación (MAC), descritos en la EG-2013, para tener un producto de calidad.

Se recomienda realizar estudio de investigación para la comparación de costos de producción entre la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica modificada, a través del periodo de vida útil de carpeta asfáltica.

Se recomienda utilizar mezclas asfálticas modificadas con fibras de polipropileno, y realizar ensayos a especímenes de menor espesor para analizar si se puede reducir el espesor de la capa rodadura y si cumple con los parámetros de capacidad estructural.

De acuerdo al estudio realizado se recomienda complementar la investigación realizando pruebas de fatiga a las mezclas asfáltica, debido a que tienen un alto índice de rigidez, las cuales podrán tener fisuras por la repetición de cargas del tráfico.

Se recomiendo que el Ministerio Transportes y Comunicaciones implemente normas sobre el uso de pavimentos modificados con fibras de polipropileno u otros materiales basándose en las distintas investigaciones existentes en el Perú y otros países.

## REFERENCIAS

1. BENAVIDES Burgos, Karina de Jesús. Pavimentos ecológicos: Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente (MDC-2) modificada con desechos plásticos. Tesis (Ingeniero Civil). Cartagena: Universidad de Cartagena, 2014.
2. BURBANO Villarreal, Gabriel Alexander. Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico normal y modificado, mediante el método Marshall, empleando agregados pétreos de la cantera de san francisco, departamento de Putumayo y asfalto de Barrancabermeja. Tesis (ingeniero civil). San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2012.  
Disponble en <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/85128.pdf>
3. CURO, Alfredo y LIZÁRRAGA, Shakti. Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas y parámetros volumétricos de un concreto asfáltico con partículas de polipropileno en porcentajes variables en función al peso de la mezcla asfáltica, elaborados con los agregados de la región Cusco, cemento asfáltico tipo convencional PEN 85/100 y filler respecto a un concreto asfáltico tradicional. Tesis (ingeniero civil). Cusco: Universidad Andina del Cusco, Ingeniería Civil, 2017.  
Disponble en <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/878>
4. DÁVALOS Murray, Roció. Obtención de mezclas asfálticas mediante la adición de material reciclado: Poliestereno expandido. Tesis (ingeniero civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Ingeniería Civil, 2015.  
Disponble en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1910>
5. GOBIERNO regional la libertad: La libertad tiene el 22% de sus carreteras pavimentadas [en línea]. Trujillo: Tu región informa, marzo, 2017. [fecha de consulta: 12 de mayo de 2018].  
Disponble en <http://www.regionlalibertad.gob.pe/noticias/nacionales/7019-la-libertad-tiene-el-22-de-sus-carreteras-pavimentadas>

6. GONZALES, Carlos. Fallas en el pavimento flexible de la avenida vía de evitamiento sur, Cajamarca, 2015. Tesis (para optar por el título de ingeniería civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2015.
7. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA Pilar. Metodología de la investigación. 5.ª ed. México: Mc Graw Hill, 2014. 120 – 137 pp.  
ISBN: 978-607-15-0291-9
8. HIGUERA, Carlos. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Tunja: Yolanda Romero A, 2011. ISBN: 9789586601498.
9. INTERVENCIONES en la red vial nacional. [en Línea]. Lima: Proviás Nacional. Marzo, 2016. [Fecha de consulta: 18 mayo 2018].  
Disponble en  
[http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/RVN%20presentacion/RVN\\_PERU\\_RT\\_201601%20\(20160311\).pdf](http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/RVN%20presentacion/RVN_PERU_RT_201601%20(20160311).pdf)
10. JIMÉNEZ, Cristian. Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional. Tesis (título de ingeniero civil). Ambato: Universidad Técnica De Ambato, 2016.  
Disponble en <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25151>
11. LANDINEZ Saurith, Alcides, RESTREPO Piedrahita, Gustavo y LÁZARO Suarez, Jerson. Análisis físico – mecánico de mezcla densas en caliente MDC – 19 con adición de tiras de geotextil de 1 cm. Tesis (especialista en ingeniería de pavimentos). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2017.  
  
disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/14619>
12. LOPEZ Jácome, Stalin y VELOZ Vásquez, Alexandra. Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba. Tesis (Título ingeniero civil). Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército, 2013.  
Disponble en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6533>

13. MAPA Comparativo de Países: Carreteras – Mundo. [en línea]. Estados Unidos: index mundi. (1 de enero de 2018). [Fecha de consulta: 16 de abril de 2018].  
Disponible en: <https://www.indexmundi.com/map/?v=115&l=es>
14. MEDINA, Armando y DE LA CRUZ, Marcos. Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. Tesis (título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2015.
15. MEJÍA, Cristian y SIERRA, Cristian. Estado del arte de mezcla asfáltica modificadas en los últimos 10 años: caso estudio Universidad de Bogotá D.C. Tesis (título de Ingeniero Civil). Bogotá Colombia: Universidad Piloto de Colombia, Ingeniería Civil 2017.  
Disponible en <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003837.pdf>
16. MINISTERIO de obras públicas y comunicaciones (República Dominicana). Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación. República Dominicana: MOPC, 2016.
17. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (MC-ETGC). Lima: MTC, 2013.
18. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: sección suelos y pavimentos. Lima: MTC, 2014.
19. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 111 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 72 pp.
20. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 114 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 91 pp.
21. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 204 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 303 pp.



22. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 205 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 309 pp.
23. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 206 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 312 pp.
24. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 207 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 315 pp.
25. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 209 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 329 pp.
26. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 210 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 337 pp.
27. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 219 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 378 pp.
28. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 220 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 380 pp.
29. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 222 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 389 pp.
30. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 504 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 683 pp.
31. MINISTERIO de Transportes y Comunicaciones (MTC) E 515 (Perú). Manual de ensayo de materiales. Lima: MTC, 2016. 644 pp.
32. MINAYA rosario, Carlos. Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales en caliente reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima -2017. Tesis (título de ingeniero civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017. Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/1506>

33. PAREDES Matta, Elizabeth. Comportamiento mecánico de las mezclas tipo SMA. Tesis (título ingeniero civil). Lima. Universidad Ricardo Palma, ingeniería, 2009.
34. RENGIFO Arakaki, Kimico Katherine. Diseño de los pavimentos de la nueva carretera panamericana norte en el tramo de Huacho a Pativilca (km 188 a 189). Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú, Ciencias e Ingeniería, 2014. 3 pp. 13-14  
Disponible en:  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
35. REYES, Oscar, TRONCOSO, Juan, LIZCANO, Fredy. Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras. Ciencia e Ingeniería Neograndina [en línea]. Bogotá: REDALYC, 2005. [Fecha de consulta: 19 de junio de 2018].  
Disponible en:  
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1251/979>  
ISBN: 1909 – 77350
36. RONDÓN, Hugo y REYES Fredy. Pavimentos materiales, construcción y diseño. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2015. 107 pp.  
ISBN: 97895877117752
37. PRECIADO, Carlos y SIERRA, Carlos. Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas SMA. Tesis (título ingeniero civil). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013.  
Disponible en:  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21465/PreciadoBolivarCarlosAlberto2013.pdf?sequence=1>
38. STANDARD test method for aggregate. Standard test method for aggregate durability index, ASTM D3744 / D3744M-11a. West Conshohocken: ASTM International, 2011.

39. STANDARD test method for aggregate. Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate, ASTM D5821-13(2017). West Conshohocken: ASTM International, 2017.
40. Sika® Fiber CHO 65/35 NB. Fibra de acero pegadas para refuerzo del concreto normal y concreto proyectado. 6 ed. Lima, 2015.
41. TERÁN Molina, Luis Alberto. Diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall. Tesis (ingeniero civil). Quito: Universidad Internacional de Ecuador, Ingeniería, 2015.  
Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2208>
42. VANEGAS Miranda, Juan Diego. Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras sintéticas. Tesis (magister en ingeniería civil). Bogotá: Universidad de los Andes, Ingeniería, 2016.  
Disponible en <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/1992/7087>

# ANEXOS

✓ Validación de los instrumentos:



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E Z04

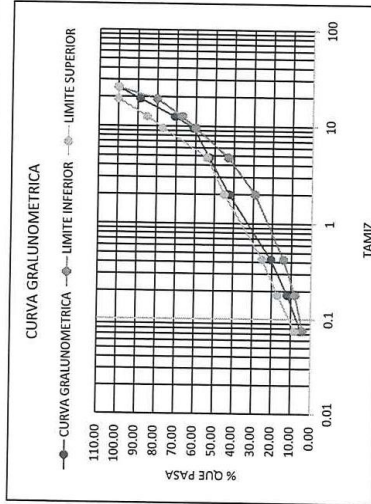
TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Reimer

RESPONSABLES: TESISISTAS

MALLA	A.G. RETEN	A.G. %RETIENE	A.G. %PASA	A.F. RETENIDO	A.F. %RETIENE	A.F. %PASA	FL. RETENIDO	FL. %RETIENE	FL. %PASA	REQ. A.G	REQ. A.F	REQ. FILL	MAC - 1	%MEZCLA
25.0 mm (1")	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	48.00	50.00	2.00	100.00	100.00
19.0 mm (3/4")	1180.60	23.61	76.39	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	36.67	50.00	2.00	80 - 100	88.67
12.5 mm (1/2")	1865.30	37.31	39.08	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	18.76	50.00	2.00	67 - 85	70.76
9.5 mm (3/8")	995.50	19.91	19.17	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	9.20	50.00	2.00	60 - 77	61.20
4.75 mm (N° 4)	866.10	17.32	1.85	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	0.89	50.00	2.00	43 - 54	52.89
2.00 mm (N° 10)	92.50	1.85	0.00	95.50	19.10	80.90	0.00	0.00	100.00	0.00	40.45	2.00	29 - 45	42.45
42.5 mm (N° 40)	0.00	0.00	0.00	219.30	43.86	37.04	0.00	0.00	100.00	0.00	18.52	2.00	14 - 25	20.52
180 mm (N° 80)	0.00	0.00	0.00	85.60	17.12	19.92	0.00	0.00	100.00	0.00	9.96	2.00	8 - 17	11.96
75 mm (N° 200)	0.00	0.00	0.00	65.50	13.10	6.82	200.00	200.00	80.00	0.00	3.41	1.60	4 - 8	5.01
Plato	0.00	0.00	0.00	34.10	6.82	0.00	800.00	800.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
Total	5000.00	100.00		500.00	100.00		10000.00							



TAMIZ	ABERTURA	AG. GRUESO	AG. FINO	FILLER	MEZCLA	ESPECIFICACIÓN
N°	mm	% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA	% PASA	GRADACION MAC - 1
(1")	25.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100
(3/4")	19.0	76.39	100.00	100.00	88.67	80
(1/2")	12.5	39.08	100.00	100.00	70.76	67
(3/8")	9.5	19.17	100.00	100.00	61.20	60
(N° 4)	4.75	1.85	100.00	100.00	52.89	43
(N° 10)	2.00	0.00	80.90	100.00	42.45	29
(N° 40)	0.425	0.00	37.04	100.00	20.52	14
(N° 80)	0.18	0.00	19.92	100.00	11.96	8
(N° 200)	0.075	0.00	6.82	80.00	5.01	4



CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS  
FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO MTC E 210

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE,  
TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISISTAS

Tamices		Peso total retenido en mallas (A)	Peso de material (B)	% de caras fracturadas (C= B/A*100)	Escala original % (D)	% de caras fracturadas (E= C*D)
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1"		1 a mas	1 mas		1
1"	3/4"	404.40	388.50	96.07	28.10	27.00
3/4"	1/2"	792.60	782.00	98.66	44.40	43.81
1/2"	3/8"	303.01	295.60	97.55	27.50	26.83
sumatoria		1500.01	1466.10	292.28	100.00	97.64

% de caras fracturadas de 1 a más:

Tamices		Peso total retenido en mallas (A)	Peso de material (B)	% de caras fracturadas (C= B/A*100)	Escala original % (D)	% de caras fracturadas (E= C*D)
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1"		2 a más	2 más		2
1"	3/4"	404.40	352.20	87.09	28.10	24.47
3/4"	1/2"	792.60	761.30	96.05	44.40	42.65
1/2"	3/8"	303.01	276.60	91.28	27.50	25.10
sumatoria			1390.1	274.42	100	92.22

% de caras fracturadas de 2 a más:



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
[ucv.edu.pe](http://ucv.edu.pe)



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

EQUIVALENTE DE ARENA MTC E 114

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

muestra		m - 1	m - 2	m - 3
inicio del periodo de humedecimiento	M	10:40	10:58	11:25
fin del periodo humedecimiento (M+ 10)	1	10:50	11:08	11:35
inicio del periodo de sedimentacion	N	10:52	11:10	11:37
fin del periodo sedimentacion (N + 20)	2	11:12	11:30	11:57
altura de arcilla (cm)	X	12.30	12.70	12.40
altura de arena (cm)	Y	11.40	11.70	11.20
equivalente de arena (Y/X)*100	5	93.00	92.00	90.00
promedio de equivalente de arena %	6		91.67	92.00

pasar de pulg - cm

M - 1

altura de arcilla (pulg)	4.85	12.3
(1 pulg = 2.54cm)	2.54	
altura de arena (cm)	14.5	11.4
(1 pulg = 2.54cm)	2.54	

M-2

altura de arcilla (pulg)	5	12.7
(1 pulg = 2.54cm)	2.54	
altura de arena (cm)	14.6	11.7
(1 pulg = 2.54cm)	2.54	

M-3

altura de arcilla (pulg)	4.9	12.4
(1 pulg = 2.54cm)	2.54	
altura de arena (cm)	14.4	11.2
(1 pulg = 2.54cm)	2.54	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru

@ucv\_peru

#saliradelante

ucv.edu.pe



ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N° 40 Y 200) MTC E 111

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2
Ensayos					
N° de golpes	25	20	22		
Codigo de tara					
Peso de tara + suelo humedo (gr)	21.37	22.62	22.19	12.94	12.96
Peso de tara + suelo seco (gr)	21.37	22.62	22.19	12.94	12.96
Peso de agua (gr)	0	0	0	0	0
Peso de tara (gr)	10.75	10.08	10.52	11.32	10.72
Peso de suelo seco (gr)	10.62	12.54	11.67	1.62	2.24
contenido de humedad (%)	0	0	0	0	0

LL: NP	LP: NP
IP: NP	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO MTC E 205

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

Descripcion	Agregado Fino
Peso de material saturado y superficie seca (en aire) (gr) A	500.00
Peso fiola + H2O (gr) B	651.00
Peso fiola + H2O + Material (gr) C=A+B	1151.00
Peso fiola + H2O + Material saturado y superficie seca (gr) D	961.78
Volumen masa + volumen de vacios (cm2) E= C-D	189.22
Peso de material seco a 105° C (gr) F	497.64
Volumen de masa (cm3) G=F+B-D	186.86
Peso Bulk base seca (gr/cm3) F/E	2.63
Peso Bulk base saturada (gr/cm3) A/E	2.64
Peso aparente base seca (gr/cm3) F/G	2.66
Absorcion (%) $((A-F)/F)*100$	0.47

  
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
LAB. SUELOS  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO MTC E 206

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES: PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

Descripcion	Agregado grueso
Peso de material saturado y superficial seca (en aire) (gr) A	1513.40
Peso material saturado y superficial seca (en agua) (gr) B	934.30
Volumen masa + volumen de vacios (cm <sup>2</sup> ) C= A-B	579.10
Peso de material seco a 105° C (gr) D	1500.10
Volumen de masa (cm <sup>3</sup> ) E=D-B	565.80
Peso Bulk base seca (gr/cm <sup>3</sup> ) D/C	2.59
Peso Bulk base saturada (gr/cm <sup>3</sup> ) A/C	2.61
Peso aparente base seca (gr/cm <sup>3</sup> ) F/G	2.65
Absorcion* (%) ((A-F)/F)*100	0.89



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211874  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO MTC E 222

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES: PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO METODO C					
DATOS		UND	M1	M2	M3
V	Volumen del cilindro	cm <sup>3</sup>	102.73	102.73	102.73
Geb	Gravedad específica bruta	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.58	2.58	2.58
W	Peso de la muestra que llena el cilindro	gr	141.01	141.92	141.35
A°	$(V-(W/Geb))/V*100$	%	46.80	46.45	46.67



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

### CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS MTC E 223

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES: PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

TAMIZ	GRADACION ORIGINAL	PORCENTAJE RETENIDO	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	% PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	% DE CHATAS Y ALARGADAS
	D	A	B	$C = B/A * 100$	$E = C * D / 100$
1 1/2" - 1"					
1" - 3/4"	28.10	925.50	15.30	1.65	0.46
3/4" - 1/2"	44.40	1433.30	26.40	1.84	0.82
1/2" - 3/8"	27.50	845.80	12.60	1.49	0.41
	100.00	3204.60			1.69

PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS = 1.69



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
  
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
 CIP: 211074  
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO  
 Av. Larco 1770.  
 Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
 Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	4.50			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE	Gr/cm3	1.010			
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	Gr/cm3	2.590			
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO	Gr/cm3	2.630			
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	Gr/cm3	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	Cm	6.36	6.36	6.31	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	Grs.	1196.8	1197.8	1191.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	Grs.	1199.9	1201.6	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	Grs.	681.1	683.3	682.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm3	518.8	518.3	512.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)	Grs.	3.1	3.8	4.0	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	Gr/cm3	2.307	2.311	2.323	2.314
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	Gr/cm3	2.450	2.450	2.450	
17	ABSORCION	%	0.598	0.733	0.780	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = (16-15/16*100)	%	5.840	5.673	5.184	5.6
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	Gr/cm3	2.603			
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	15.4	15.2	14.8	15.1
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	62.0	62.7	64.9	63.2
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	Gr/cm3	2.626			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.35			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	4.50			
25	FLUJO	m.m.	2.95	2.90	3.00	2.95
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg.	984.5	1002.8	996.2	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.99	0.99	1.01	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg.	974	994	1006	991
29	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	3302	3427	3353	3361
OBSERVACIONES :						

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru

@ucv\_peru

#saliradelante

ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.00			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.60			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.50			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.90			
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm3	1.01			
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm3	2.590			
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm3	2.630			
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	gr/cm3	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm3	6.35	6.31	6.28	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1201.7	1197.3	1195.7	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1205.2	1201.7	1201.9	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE EN AGUA	gr	688.8	690.1	691.2	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm3	516.4	511.6	510.7	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)	gr	3.5	4.4	6.2	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm3	2.327	2.340	2.341	2.336
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm3	2.450	2.455	2.455	
17	ABSORCION	%	0.678	0.860	1.214	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = $(16-15/16*100)$	%	5.02	4.490	4.449	4.7
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm3	2.603			
20	$V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19$	%	15.1	14.6	14.6	14.7
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = $(20-18)/20*100$	%	66.7	69.2	69.4	68.5
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(100/16-1/5)$	gr/cm3	2.655			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = $(100*5*(22-19)/(22*19))$	%	0.76			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	5.00			
25	FLUJO	m.m.	3.25	3.15	3.30	3.23
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1189.5	1194.2	1182.5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.00	1.01	1.02	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1186	1211	1203	1200
29	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	3651	3844	3644	3713
OBSERVACIONES :						

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
 CIP: 211074  
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru

@ucv\_peru

#saliradelante

ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel  
VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.50			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.36			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.25			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.89			
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm3	1.01			
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm3	2.590			
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm3	2.630			
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	gr/cm3	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm3	6.24	6.31	6.4	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1192.2	1201.3	1201.5	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1196.5	1204.3	1205.0	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	689.0	692.2	690.8	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm3	507.5	512.1	514.2	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)	gr	4.3	3.0	3.5	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm3	2.349	2.346	2.337	2.344
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm3	2.430	2.440	2.440	
17	ABSORCION	%	0.847	0.586	0.681	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = (16-15/16*100)	%	3.33	3.457	3.827	3.5
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm3	2.603			
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19	%	14.7	14.8	15.2	14.9
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	77.4	76.7	74.7	76.3
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	gr/cm3	2.659			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19))/(22*19)	%	0.82			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	5.50			
25	FLUJO	m.m.	3.40	3.50	3.35	3.42
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1168.3	1165.9	1158.4	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.03	1.01	1.00	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1201	1180	1164	1182
29	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	3532	3372	3475	3460
OBSERVACIONES :						

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	6.00			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.12			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.00			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.88			
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE	gr/cm3	1.01			
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	gr/cm3	2.590			
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO	gr/cm3	2.630			
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	gr/cm3	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	cm3	6.30	6.31	6.2	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1195.0	1197.0	1201.6	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	gr	1199.4	1199.4	1205.7	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	gr	686.0	686.2	699.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	cm3	513.4	513.2	506.2	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)	gr	4.4	2.4	4.1	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	gr/cm3	2.328	2.332	2.374	2.345
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	gr/cm3	2.420	2.420	2.400	
17	ABSORCIÓN	%	0.857	0.468	0.810	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = $(16-15/16*100)$	%	3.80	3.636	1.901	3.1
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	gr/cm3	2.603			
20	V.M.A = $100 - (2+3+4)*15/19$	%	15.9	15.8	14.3	15.3
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = $(20-18)/20*100$	%	76.1	77.0	86.7	79.9
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(100/16-1/5)$	gr/cm3	2.657			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = $(100*5*(22-19))/(22*19)$	%	0.79			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	6.00			
25	FLUJO	m.m.	3.70	3.85	3.80	3.78
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1010	1022	1005	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.01	1.01	1.03	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1018	1031	1038	1029
29	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg/cm	2751	2677	2731	2719
OBSERVACIONES :						

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211674  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



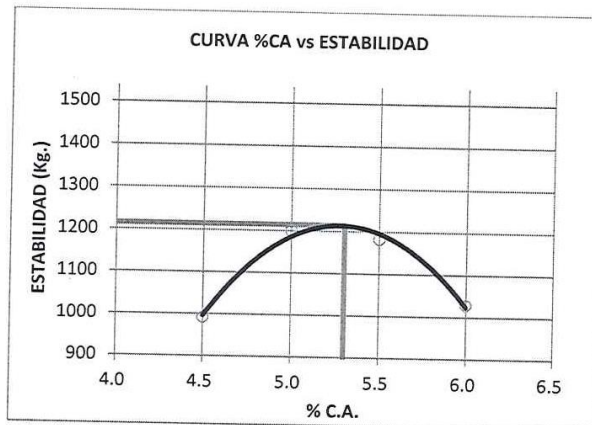
TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

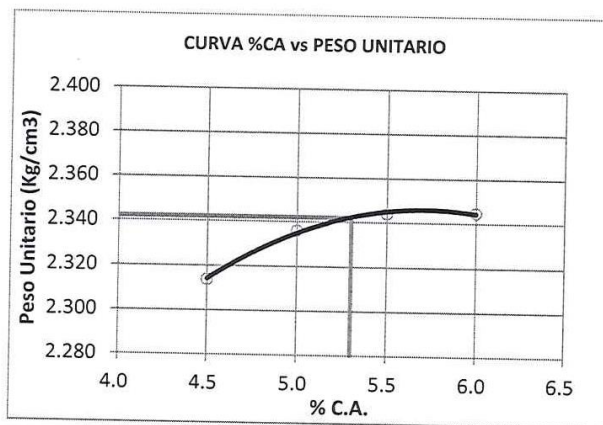
PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS



% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
ESTAB C/C.	991	1200	1182	1029



% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
PESO UNIT.	2.314	2.336	2.344	2.345

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.

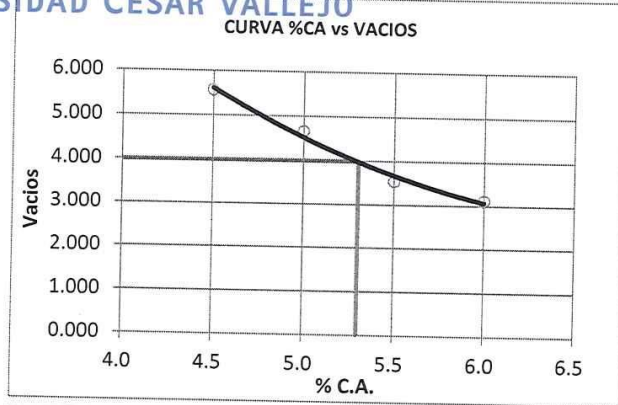


UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

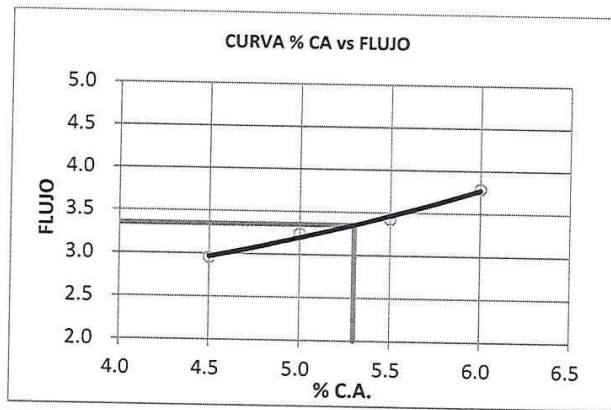
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe





% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
VACIOS	5.566	4.653	3.538	3.112



% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
FLUJO	3.0	3.2	3.4	3.8



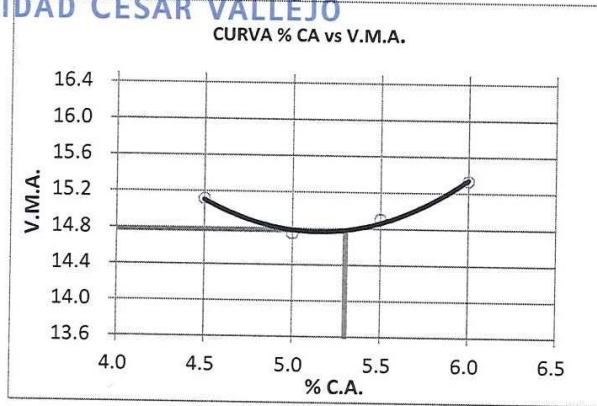
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



% CA	4.5	5.0	5.5	6.0
VMA	15.1	14.7	14.9	15.3

<b>OPTIMO CONTENIDO DE c.a. (%)</b>	<b>5.3</b>
ESTABILIDAD (Kg.)	1215
PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )	2.342
VACIOS DE AIRE (%)	4
FLUJO (0.01")	3.35
V.M.A. (%)	14.78
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm)	3,626.87

**CAMPUS TRUJILLO**  
 Av. Larco 1770.  
 Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
 Fax: (044) 485 019.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
 CIP: 211074  
 -I- de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS 0.5%F.P	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.30			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE	Gr./c.c.	1.010			
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	Gr./c.c.	2.590			
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO	Gr./c.c.	2.630			
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	Gr./c.c.	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	Cm	6.40	6.40	6.4	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	Grs.	1193.3	1195.2	1191.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	Grs.	1198.4	1199.5	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	Grs.	678.1	679.3	677.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)	c.c.	520.3	520.2	517.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)	Grs.	5.1	4.3	4.0	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10 /13)	Gr./c.c.	2.293	2.298	2.301	2.297
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	Gr./c.c.	2.420	2.420	2.420	
17	ABSORCION	%	0.980	0.827	0.772	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = (16-15/16*100)	%	5.250	5.041	4.917	5.1
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	Gr./c.c.	2.603			
20	V.M.A = 100 - (2+3+4)*15/19		15.9	15.7	15.6	15.7
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = (20-18)/20*100	%	66.9	67.9	68.4	67.7
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/16-1/5)	Gr./c.c.	2.647			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = (100*5*(22-19)/(22*19))	%	0.65			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	5.30			
25	FLUJO	m.m.	2.95	2.90	3.00	2.95
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg.	1180	1168	1160.5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.98	0.98	0.99	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg.	1161	1150	1152	1154
29	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg./cm.	3937	3965	3840	3914
OBSERVACIONES :						

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña

CIP: 211074

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru

@ucv\_peru

#saliradelante

ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS	1.5% F.P	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		%		5.30		
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA		%		45.840		
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA		%		47.750		
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		%		1.910		
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE		Gr./c.c.		1.010		
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO		Gr./c.c.		2.590		
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO		Gr./c.c.		2.630		
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		Gr./c.c.		2.290		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA		Cm	6.35	6.35	6.31	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE		Grs.	1195.5	1193.8	1192.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE		Grs.	1198.8	1196.8	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA		Grs.	682.1	680.3	681.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11 - 12)		c.c.	516.7	516.5	513.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)		Grs.	3.3	3.0	3.0	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10/13)		Gr./c.c.	2.314	2.311	2.321	2.315
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041		Gr./c.c.	2.412	2.412	2.412	
17	ABSORCION		%	0.639	0.581	0.584	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = $(16-15/16*100)$		%	4.060	4.187	3.773	4.0
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL		Gr./c.c.		2.603		
20	V.M.A = $100 - (2+3+4)*15/19$			15.1	15.2	14.8	15.1
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = $(20-18)/20*100$		%	73.1	72.5	74.6	73.4
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(100/16-1/5)$		Gr./c.c.		2.637		
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = $(100*5*(22-19)/(22*19))$		%		0.50		
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO		%		5.30		
25	FLUJO		m.m.	3.14	3.25	3.18	3.19
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR		Kg.	1282.5	1254.5	1275.7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD			1.00	1.00	1.01	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA		Kg.	1278	1251	1284	1271
29	ESTABILIDAD / FLUJO		Kg./cm.	4070	3849	4037	3985
OBSERVACIONES :							

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ing. Bryan Emmanuel Cárdenas Saldaña

CIP: 211074

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru

@ucv\_peru

#saliradelante

ucv.edu.pe



RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL MTC E 504

TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS

IT	BRIQUETAS 2.5% F.P	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	%	5.30			
2	% DE AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	%	45.840			
3	% AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA	%	47.750			
4	% DE FILLER (MINIMO 65% PASA LA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.910			
5	PESO ESPECIFICO DEL C.A. - APARENTE	Gr./c.c.	1.010			
6	PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO BULK SECO	Gr./c.c.	2.590			
7	PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO BULK SECO	Gr./c.c.	2.630			
8	PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	Gr./c.c.	2.290			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA	Cm	6.40	6.40	6.31	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	Grs.	1198.3	1200.1	1191.3	
11	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE	Grs.	1202.2	1204.3	1195.3	
12	PESO DE BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA	Grs.	684.1	686.3	682.5	
13	VOL. DE BRIQ. SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (11-12)	c.c.	518.1	518.0	512.8	
14	PESO DEL AGUA ABSORVIDA (11 - 10)	Grs.	3.9	4.2	4.0	
15	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETA (10/13)	Gr./c.c.	2.313	2.317	2.323	2.318
16	PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE) ASTM D-2041	Gr./c.c.	2.395	2.395	2.395	
17	ABSORCION	%	0.753	0.811	0.780	
18	PORCENTAJE DE VACIOS = $(16-15/16*100)$	%	3.420	3.257	3.006	3.2
19	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	Gr./c.c.	2.603			
20	V.M.A = $100 - (2+3+4)*15/19$		15.1	15.0	14.8	15.0
21	PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. = $(20-18)/20*100$	%	77.4	78.3	79.6	78.4
22	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(2+3+4)/(100/16-1/5)$	Gr./c.c.	2.616			
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL = $(100*5*(22-19)/(22*19))$	%	0.19			
24	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO	%	5.30			
25	FLUJO	m.m.	3.54	3.48	3.35	3.46
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg.	1136	1152.5	1143	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.99	0.99	1.01	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg.	1127	1143	1154	1141
29	ESTABILIDAD / FLUJO	Kg./cm.	3182	3285	3445	3304
OBSERVACIONES :						

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

Fax: (044) 485 019.



fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



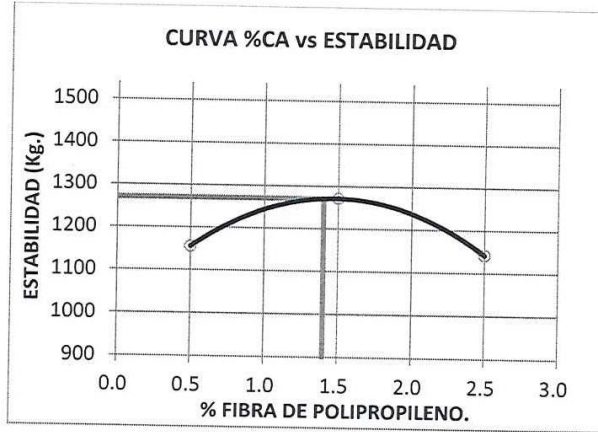
TESIS: EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

AUTORES:

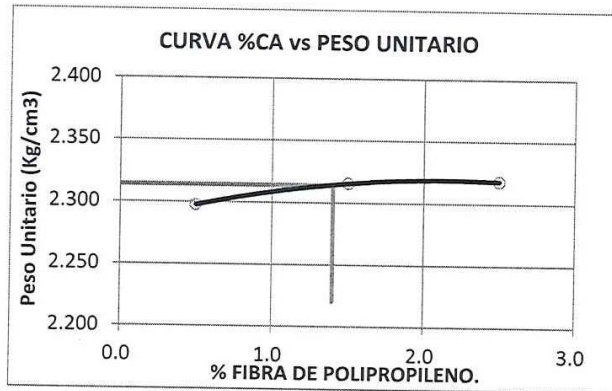
PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

RESPONSABLES: TESISTAS



% FIBRA	0.5	1.5	2.5
ESTAB C/C.	1154	1271	1141



% FIBRA	0.5	1.5	2.5
PESO UNIT.	2.297	2.315	2.318

CAMPUS TRUJILLO

Av. Larco 1770.

Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.

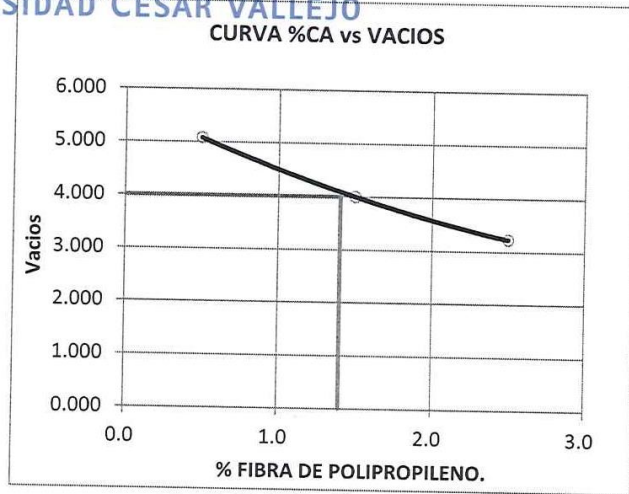
Fax: (044) 485 019.



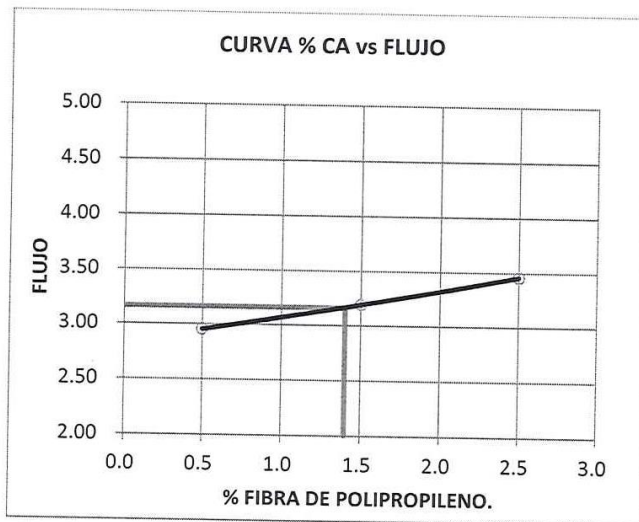
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



% FIBRA	0.5	1.5	2.5
VACIOS	5.070	4.000	3.228



% FIBRA	0.5	1.5	2.5
FLUJO	2.95	3.19	3.46

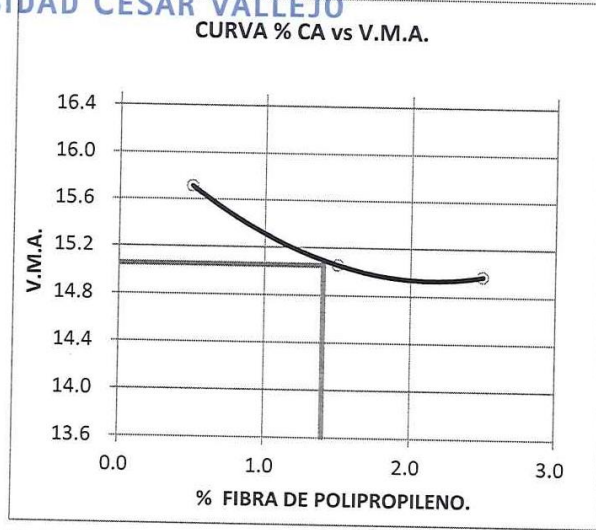
CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770.  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
Fax: (044) 485 019.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
CIP: 211074  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



% FIBRA	0.5	1.5	2.5
VMA	15.7	15.1	15.0

<b>OPTIMO CONTENIDO DE c.a. (%)</b>	5.3
<b>ESTABILIDAD (Kg.)</b>	1270
<b>PESO UNITARIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2.314
<b>VACIOS DE AIRE (%)</b>	4
<b>OPTIMO CONTENIDO DE FIBRA DE POLIPROPILENO (%)</b>	1.4
<b>FLUJO (0.01")</b>	3.16
<b>V.M.A. (%)</b>	15.05
<b>ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm)</b>	4,018.99

**CAMPUS TRUJILLO**  
 Av. Larco 1770.  
 Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000.  
 Fax: (044) 485 019.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
 Ing. Bryan Emanuel Cárdenas Saldaña  
 CIP: 211074  
 Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe





**ASFALTOS COMPANY VIAL S.A.C.**

FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS, AGREGADOS E IMPERMEABILIZANTES, R.C. - 200 - ASFALTO - EMULSIÓN ASFÁLTICA - BREA INDUSTRIAL ALQUITRAN PEN60/70 - PINTURAS - DISOLVENTES DE PINTURA ACRES - PEGAMENTOS PARA MAYOLICAS - PRODUCTO DE LIMPIEZA Y AFINES  
 COTIZACION: ascov2017@hotmail.com  
 Mza. B Lote. 12 S. Francisco V. - Puente Piedra - Lima - Lima  
 975461308 / 912291416 / 912290321

**R.U.C. 20602087485**

**GUIA DE REMISION - REMITENTE**

**Nº 000166**

**0001-**

Fecha de Emisión .....de.....del 20....

Punto de Partida: <u>Mz.B.Lt 12 SAN FRANCISCO V. PUENTEPIEDRA - LIMA</u>	Punto de Llegada: <u>CALLE 2 Mz.HI Lt.14 COVICORTI - TRUJILLO</u>
Fecha de Inicio de Traslado:	Nom. O razon social del DESTINATARIO: <u>FINOZO DIAZ DIANA ISABEL</u>
Costo mínimo:	R.U.C. .... Tp. Doc. Ident. y Nº <u>75322031</u>
UNIDAD DE TRANSPORTE Y CONDUCTOR	EMPRESA DE TRANSPORTES
Marca y numero de placa: .....	Nombre O razon social: .....
Nº de constancia de Inscripción: .....	Numero de R.U.C.: .....
Nº de Licencia de Conducir: .....	

CANT.	DESCRIPCION	UNID. DE MEDIDA	PESO TOTAL
01	BOLDE DE CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	5kg	20 kilos

COMPROBANTE DE PAGO		MOTIVO DEL TRASLADO	
Tipo: .....	Nº: .....	<input type="checkbox"/> Venta <input type="checkbox"/> Venta sujeta a confirmación del Comprador <input type="checkbox"/> Compra <input type="checkbox"/> Consignación <input type="checkbox"/> Devolución <input type="checkbox"/> Traslado entre establecimientos de la misma empresa <input type="checkbox"/> Traslado de bienes para transformación	<input type="checkbox"/> Recibo de bienes transformados <input type="checkbox"/> Traslado por Emisor Itinerante <input type="checkbox"/> Traslado Zona primaria <input type="checkbox"/> Importación <input type="checkbox"/> Exportación <input type="checkbox"/> Venta con entregar a terceros <input type="checkbox"/> Otros
<b>IMP. MUÑOZ</b> Tel: 549-2593 Kalia Martha Muñoz Ramos R.U.C. 10404139580 SERIE: 0001 DEL 101 AL 200 AUT: 13644671023 FL 21-09-2018		..... Vº Bº ..... Recibi Conforme ..... Sr(a) (ta).....	

**DESTINATARIO**

el producto tiene viscosidad baja a temperatura ambiente. A pesar de la presencia conocida de PCA's no existe evidencia de que la exposición a asfaltos sin diluir, o sus humos sea nociva.

**Efectos tóxicos generales:** El problema principal puede provenir por quemaduras de piel y por exposiciones prolongadas a vapores.

CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA

Rev.: 1.7

Fecha: 18 de Agosto de 2006

Doc: GSTC-F-CA60

1 de 7

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ**

<b>CLASE DE PRODUCTO</b>		<b>ASFALTO SÓLIDO</b>		<i>Fecha efectiva:</i> Enero 2014	
<b>TIPO DE PRODUCTO</b>		<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>		<i>Reemplaza edición de:</i> Noviembre 2007	
<b>NOMBRE DE PRODUCTO</b>					
<b>ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN</b>					
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO		
	MIN.	MÁX.	ASTM	AASHTO	
PENETRACIÓN a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	T-49	
<b>VOLATILIDAD</b>					
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48	
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228	
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51	
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % masa	99,0		D-2042	T-44	
<b>SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA</b>					
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179	
Pérdida por calentamiento, % masa		0,8			
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51	
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB	
<b>FLUIDEZ</b>					
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar				
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201	
<b>REQUERIMIENTO GENERAL:</b>		El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
<b>OBSERVACIONES:</b>					
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.					

OBRA

**DISEÑO MEZCLA ASFALTICA PARA TESIS**

SOLICITA **VACA LOPEZ RENSON RELMER Y PINEDO DIAZ DIANA ISABEL**

CANTERA **SAN MARTIN**

FECHA **30/10/2018**

MTC E 209

<b>INALTERABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCIÓN DE SO<sup>4</sup> Mg</b>						
FRACCION	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
T. de MALLAS Pasa Ret.	Gradación Original %	Peso de la Fracción (g)	Peso Retenido desp. del Ensayo	Perdida Total (%)	% de Pérdidas Corregidas	
1 1/2" 1"						
1" 3/4"	26.49	635	614	3.36	0.89	
3/4 1/2"	33.78	873	852	2.32	0.78	
1/2" 3/8"	24.72	639	632	1.04	0.26	
3/8" N° 4	15.01	393	391	0.32	0.05	
<b>TOTALES</b>	<b>100.00</b>	<b>2540</b>	<b>2490</b>			<b>1.93</b>

<b>INALTERABILIDAD DEL AGREGADO FINO EN SOLUCIÓN DE SO<sup>4</sup> Mg</b>						
FRACCION	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
T. de MALLAS Pasa Ret.	Gradación Original %	Peso de la Fracción (g)	Peso Retenido desp. del Ensayo	Perdida Total (%)	% de Pérdidas Corregidas	
3/8" N° 4	0.59			1.4	0.01	
N° 4 N° 8	3.96			1.4	0.06	
N° 8 N° 16	4.89			1.4	0.07	
N° 16 N° 30	7.33	100	98.6	1.4	0.10	
N° 30 N° 50	14.85	100	97.9	2.1	0.31	
N° 50 N° 100	57.68	100	96.9	3.2	1.82	
N° 100	10.70					
<b>TOTALES</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>293</b>			<b>2.36</b>

GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD  
 GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 APOYO TECNOLÓGICO - LABORATORIO  
  
**Ing. Carlos Camino Garces**  
 JEFE

<b>OBRA</b>	<b>DISEÑO MEZCLA ASFALTICA PARA TESIS</b>	
<b>SOLICITANTE</b>	VACA LOPEZ RENSON RELMER Y PINEDO DIAZ DIANA ISABEL	
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO - REGION LA LIBERTAD	
<b>MUESTRA</b>	SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES	30/10/2018

**CONTENIDO DE SALES SOLUBLES  
MTC E 219**

AGREGADO GRUESO	M - 1
A.- PESO MUESTRA SECA	500.00
B.- LIQUIDOS SOBRENADANTES MATRAZ AFORADO	500.00
C.- VOLUMEN ALICUOTA	80.00
D.- ALICUOTA CRISTALIZADA	0.09
<b>% SALES SOLUBLES</b>	<b>0.11</b>

**CONTENIDO DE SALES SOLUBLES  
MTC E 219**

AGREGADO FINO	M - 2
A.- PESO MUESTRA SECA	100.00
B.- LIQUIDOS SOBRENADANTES MATRAZ AFORADO	500.00
C.- VOLUMEN ALICUOTA	50.00
D.- ALICUOTA CRISTALIZADA	0.01
<b>% SALES SOLUBLES</b>	<b>0.10</b>

GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD  
GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
APOYO TECNOLÓGICO - LABORATORIO  
.....  
**Ing. Carlos Camino Garcés**  
JEFE

**INFORME N° 003-2018 / LMSPEM**

**DE** : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS ENSAYOS DE MATERIALES

**PARA** : PINEDO DIAZ, Diana Isabel

VACA LOPEZ, Renson Relmer

**ASUNTO:** TESIS "Efecto de la fibra de polipropileno en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo 2018"

**ENSAYO:** Ensayo de Abrasión mediante el Uso de la Maquina de los Ángeles. **N.T.P 400.019**

**PROCEDENCIA DEL AGREGADO:** CANTERA SAN MARTIN (Chicama, provincia de Ascope- La Libertad)

**FECHA** : Trujillo, 01 de Octubre de 2018

**OBJETIVO**

Determinar el porcentaje de desgaste que existe en el agregado proveniente de la Cantera "SAN MARTIN", proporcionada por el solicitante, mediante la Máquina de los Ángeles.

**DESARROLLADO:**

Para este ensayo necesitamos 5000 gr de material respecticos de la siguiente manera:

Pasante	Retiene (Retenidos)	"A" (12) gr	"B" (11) gr	"C" (8) gr	"D" (6) gr
1 ½"	1 "	1250 ± 25			
1"	¾ "	1250 ± 25			
¾ "	½ "	1250 ± 10	2500 ± 10		
½ "	3/8 "	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8 "	¼ "			2500 ± 10	
¼ "	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10

Estos cuatro métodos llevan necesariamente una carga abrasiva que no son otra cosa que esferas de acero con un diámetro aproximado de 46.8 mm y un peso que va entre 390 y 445 gr la misma que está en función de la graduación de la muestra.

Gradación	# Esfera	Masa de la Carga Abrasiva
A	12	5000
B	11	4584
C	8	3330
D	6	2500

<b>METODO:</b>	B
<b>MUESTRA:</b>	Agregado Grueso Zarandeado
<b>CANTERA:</b>	San Martin
<b>T.M.N:</b>	3/4

Nota: Este ensayo lo realizamos por el Método "B" por lo cual tenemos que dirigirnos por las especificaciones que nos indican los cuadros anteriormente dados.

**DATOS Y RESULTADOS:**

- ✓ Peso antes de la Abrasión: (P<sub>a</sub>)= 5,000.0gr.
- ✓ Peso seco del ensayo sobre el tamiz #12 (P<sub>b</sub>) =3,575.2 gr.
- ✓ Tipo B: 11 esferas a 500 vueltas.
- ✓ Porcentaje de desgaste = (( P<sub>a</sub> - P<sub>b</sub> ) / P<sub>a</sub> ) \* 100

**PORCENTAJES:**

**PORCENTAJE**

Después de la Abrasión:

- ✓ Peso Retenido en el Tamiz #12 (PPT#12) = 3,57 kg = 3,573.2 gr
- ✓ Peso Pasante en el Tamiz #12 (PRT#12) = 1,43 kg = 1,426.8 gr

$$PT\#12 = \frac{(5,000 - 3,573.2)}{5,000} \times 100$$

$$PT\#12 = \frac{(5,000 - 1,426.8)}{5,000} \times 100$$

$$PT\#12 = 28.6 \%$$

$$PT\#12 = 71.4 \%$$

$$\text{Porcentaje De Desgaste} = 28.6 \%$$



  
Enrique Francisco Luján Silva  
Ing. Civil - MSc Ing. Geotécnica  
CIP. 54460

Mz. 10 Lote 2 - Dpto 291 - Urb. Los Jardines del Golf - TRUJILLO  
#04 9946311 - 94 8420425 - #335648  
enrique@hotmail.com

**CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO  
CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE  
MTC E 515**

**TITULO:** EFECTO DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2018

**AUTORES:** PINEDO DIAZ DIANA ISABEL Y VACA LOPEZ RENSON RELMER

BRIQUETA/ %FIBRA	CODIGO	PESO 1	N° VUELTAS	PESO 2	% DE DESGASTE	% PROMD. DE DESGASTE
G1	P.A	1173.8	300	1140.3	2.85	4.00
	P.B	1190.7		1160.3	2.55	
	P.C	1232.7		1150.5	6.67	
	P.C	1166.4		1120.6	3.93	
G2 (0.5 %)	0.5 % A	1203.6	300	1182.2	1.78	3.17
	0.5 % B	1194.7		1133.3	5.14	
	0.5 % C	1219.9		1177.1	3.51	
	0.5 % D	1191.2		1164.4	2.25	
G3 (1.5 %)	1.5 % A	1187.4	300	1129.9	4.84	3.04
	1.5 % B	1191.5		1153.2	3.21	
	1.5 % C	1189.8		1170	1.66	
	1.5 % D	1199.6		1170.4	2.43	
G4 (2.5 %)	2.5 % A	1195.1	300	1165	2.52	3.36
	2.5 % B	1197		1165.7	2.61	
	2.5 % C	1193.9		1158.5	2.97	
	2.5 % D	1194.6		1130.9	5.33	

G1: grupo control (0.0 % de Fibras de Polipropileno)

G2: grupo de estudio (0.5 % de Fibra de Polipropileno)

G2: grupo de estudio (1.5 % de Fibra de Polipropileno)

G2: grupo de estudio (2.5 % de Fibra de Polipropileno)




**Enrique Francisco Luján Silva**  
Ing. Civil - MsSc Ing. Geotécnica  
CIP. 54460

Mz. 10 Lote 2 - Dpto 201 - Urb. Los Jardines del Golf - TRUJILLO

# 94 9946311 - 94 8420425 - #335648

[enriquegeo@hotmail.com](mailto:enriquegeo@hotmail.com)

## PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO 1: Cantera San Martín, provincia de Ascope (obtención de agregado fino)



FOTO 2: Cantera San Martín, provincia de Ascope (obtención de agregado grueso)





FOTO 3: Cuarteo de material (análisis granulométrico)



FOTO 4: Secado de materiales (ensayo de % de absorción)



FOTO 5: Peso de materiales (ensayo de peso específico)



FOTO 6: Ensayo de gravedad específica



FOTO 7: tamizaje de materiales para ensayos de durabilidad y sales solubles



FOTO 8: Ensayo equivalente de arena



FOTO 9: Ensayo de abrasión de Ángeles agregado grueso



FOTO 10: Ensayo densidad máxima aparente (Rice)



FOTO 11: Preparación de la mezcla asfáltica



FOTO 12: Equipo de compactación de briquetas



FOTO 13: Briquetas con 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 % de cemento asfaltico



FOTO 14: Briquetas con (0.5, 1.5, 2.5 % de fibra de polipropileno)



FOTO 15: Maquina de extracción de probetas



FOTO 16: Maquina de estabilidad Marshall



FOTO 17: Máquina de abrasión de los Ángeles



FOTO 18: Briquetas ensayadas a 300 rv en la máquina de los Ángeles