

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO”**

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

**ELABORADO POR**

**ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN**

**ASESOR**

**Ing. JUAN APACLLA CAJA**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”.**

Romel Daniel Ortiz Huamán

Email: [rortizh@uni.pe](mailto:rortizh@uni.pe)

Celular: 940737038

A mi madre por su  
amor, comprensión y  
apoyo constante.

## AGRADECIMIENTOS

- A mamá, por darme la vida, su tiempo, su espacio, por tanta paciencia, por ello siempre te tendré eterna gratitud, sin ti nada hubiera sido posible.
- A papá, por sus enseñanzas y experiencias de vida transmitidas, por aconsejarme para poder estar encaminado y conseguir mis ideales.
- A Chinina, por ser el motor que me reanima a seguir adelante cuando las cosas no van bien, por tu comprensión y apoyo incondicional.
- A mi Padrino Leandro, a quien considero como mi segundo padre, por tu ayuda desde que tengo uso de razón y por tu gran cariño y estima hacia mí.
- A Henry por su soporte en las etapas iniciales de la investigación y por brindarme su apoyo.
- A mis familiares y amigos que siempre están ahí para brindarme unas palabras de aliento y por compartir momentos de felicidad y diversión.
- A la ing. Erika Valladares, por sus recomendaciones y excelente predisposición para darme soporte con los ensayos de laboratorio.
- A los técnicos Eduardo, Juan y demás colaboradores del laboratorio por compartir sus conocimientos que se han fortalecido a través de la experiencia.
- Finalmente, agradecer a mi asesor el ing. Juan Apacla Caja, por su apoyo, recomendaciones y sugerencias para la realización de la presente investigación.

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	1
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	7
PRÓLOGO .....	9
LISTA DE TABLAS .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	13
LISTA DE SIGLAS .....	15
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	16
1.1. GENERALIDADES .....	16
1.2. ANTECEDENTES .....	16
1.3. PROBLEMÁTICA.....	19
1.3.1. Problema Principal .....	20
1.3.2. Problemas Específicos.....	20
1.4. OBJETIVOS.....	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	21
1.5. HIPÓTESIS.....	21
1.5.1. Hipótesis general.....	21
1.5.2. Hipótesis específicas .....	21
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL</b> .....	22
2.1. MARCO TEÓRICO .....	22
2.1.1. Pavimento .....	22
2.1.2. Mezcla Asfáltica .....	22
2.1.3. Método de diseño de mezcla asfáltica Marshall .....	36
2.1.4. Agregado pétreo .....	41
2.1.5. Asfalto .....	46
2.1.6. Polímeros .....	58
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	62
2.2.1. Cemento asfáltico .....	63
2.2.2. Mezcla asfáltica en caliente .....	63
2.2.3. Mezclas asfálticas modificadas .....	63
2.2.4. Mezcla asfáltica modificada por vía seca.....	63
2.2.5. Polímeros .....	63

2.2.6. Termoplásticos.....	63
2.2.7. Plastómeros .....	63
2.2.8. PEAD.....	64
2.2.9. Reciclado de plásticos .....	64
2.2.10. Diseño Marshall .....	64
2.2.11. Estabilidad Marshall.....	64
2.2.12. Flujo Marshall.....	64
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	65
3.1. TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO .....	65
3.2. UNIDADES DE ANÁLISIS.....	65
3.3. ELEMENTOS DE ESTUDIO .....	65
3.4. TAMAÑO DE MUESTRAS DE ESTUDIO.....	65
3.5. SELECCIÓN DE MUESTRA .....	66
3.6. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN .....	66
3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	66
CAPÍTULO IV: ENSAYOS DE MATERIALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	68
4.1. AGREGADO GRUESO .....	68
4.1.1. Durabilidad del agregado grueso por medio del sulfato de magnesio (MTC E 209) .....	68
4.1.2. Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaño menores de 37.5 mm (MTC E 207).....	69
4.1.3. Partículas chatas y alargadas (MTC E 223).....	71
4.1.4. Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210) .....	72
4.1.5. Sales solubles totales en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219). 74	
4.1.6. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206).....	74
4.2. AGREGADO FINO.....	76
4.2.1. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino (MTC E 114).....	76
4.2.2. Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110) .....	78
4.2.3. Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E 111) .....	79
4.2.4. Sales solubles totales en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219). 79	
4.2.5. Gravedad específica y absorción de los agregados finos (MTC E 205) .....	79
4.2.6. Azul de metileno (AASHTO T 330 07).....	81
4.3. ASFALTO .....	82

4.3.1. Penetración de los materiales bituminosos (MTC E 304) .....	82
4.3.2. Puntos de inflamación mediante la copa abierta CLEVELAND (MTC E 303)...	83
4.3.3. Ductilidad de los materiales bituminosos (MTC E 306) .....	83
4.3.4. Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno (MTC E 302) .....	84
4.3.5. Efecto del calor y aire en materiales asfálticos, ensayo del horno de película delgada-TFOT (MTC E 315).....	85
4.3.6. Índice de penetración .....	86
4.3.7. Viscosidad cinemática de asfaltos (MTC E 310).....	87
CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	88
5.1. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN .....	88
5.1.1. Granulometría de la combinación de agregados.....	88
5.1.2. Dosificación de la mezcla .....	91
5.1.3. Compactación de la mezcla .....	91
5.1.4. Peso específico bulk de las briquetas .....	92
5.1.5. Peso específico teórico máximo (rice) .....	93
5.1.6. Propiedades volumétricas.....	94
5.1.7. Prueba de estabilidad y flujo .....	96
5.2. DISEÑO DE MEZCLA CON INCORPORACIÓN DE 0.5% DE PEAD RECICLADO .....	97
5.2.1. Granulometría de la combinación de agregados.....	97
5.2.2. Dosificación de la mezcla .....	99
5.2.3. Compactación de la mezcla .....	100
5.2.4. Peso específico bulk de las briquetas .....	100
5.2.5. Peso específico teórico máximo (rice) .....	100
5.2.6. Propiedades volumétricas.....	101
5.2.7. Prueba de estabilidad y flujo .....	102
5.3. DISEÑO DE MEZCLA CON INCORPORACIÓN DE 1.0% DE PEAD RECICLADO .....	102
5.3.1. Granulometría de la combinación de agregados.....	102
5.3.2. Dosificación de la mezcla .....	104
5.3.3. Compactación de la mezcla .....	104
5.3.4. Peso específico bulk de las briquetas .....	104
5.3.5. Peso específico teórico máximo (rice) .....	105
5.3.6. Propiedades volumétricas.....	105
5.3.7. Prueba de estabilidad y flujo .....	106
5.4. DISEÑO DE MEZCLA CON INCORPORACIÓN DE 1.5% DE PEAD RECICLADO .....	107
5.4.1. Granulometría de la combinación de agregados.....	107

5.4.2. Dosificación de la mezcla .....	109
5.4.3. Compactación de la mezcla .....	109
5.4.4. Peso específico bulk de las briquetas .....	109
5.4.5. Peso específico teórico máximo (rice) .....	110
5.4.6. Propiedades volumétricas.....	110
5.4.7. Prueba de estabilidad y flujo .....	111
CAPÍTULO VI: ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	113
6.1. CALIDAD DE LOS AGREGADOS .....	113
6.2. PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA .....	114
6.2.1. De la mezcla asfáltica patrón .....	114
6.2.2. De la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD.....	118
6.2.3. De la mezcla asfáltica con 1.0% de PEAD.....	122
6.2.4. De la mezcla asfáltica con 1.5% de PEAD.....	126
6.2.5. Especificaciones de las propiedades de la mezcla asfáltica.....	130
6.3. Análisis económico.....	131
6.4. Análisis ambiental .....	134
CONCLUSIONES.....	135
RECOMENDACIONES.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	138
ANEXOS .....	141

## RESUMEN

La producción anual de plástico genera una gran cantidad de materiales de desechos, el destino final de estos materiales genera problemas medio ambientales. De acuerdo con el Ministerio del Ambiente, cada persona utiliza, en promedio, 30 kg de plástico al año y diariamente en Lima Metropolitana y el Callao se genera 886 toneladas de residuos plásticos, representando el 46 % de estos residuos a nivel nacional.

La presente tesis se enfoca en el uso de los residuos plásticos identificados como Polietileno de Alta Densidad (PEAD) reciclado que gracias a sus propiedades térmicas se puede emplear como un método alternativo para la modificación de una mezcla asfáltica en caliente. Esto debido a que la temperatura a la cual se elabora la mezcla, una parte del PEAD reciclado toma una consistencia tal que cumple la función de trabazón entre las partículas de los agregados. Además, la fracción más volátil se anidará a la cadena hidrocarbonada del asfalto pudiendo modificar la morfología de este y/o sus propiedades reológicas, sin alcanzar a degradarse.

El estudio inició con los ensayos de calidad de los agregados, estos ensayos fueron obtenidos de la cantera La Gloria (ubicado a la altura del km 14,5 de la carretera Central, en el distrito de Ate). Se realizaron ensayos de calidad del agregado fino y el agregado grueso; ensayos de caracterización del asfalto PEN 60/70, así como también ensayos para el diseño de mezcla asfáltica. Se realizó la adición (por vía seca) de PEAD reciclado, la adición fue en porcentajes de 0,5 %, 1,0 % y 1,5 %, del peso total de los agregados, estos porcentajes fueron comparados con una mezcla asfáltica sin la adición de PEAD reciclado con el objetivo de observar el comportamiento entre estos mismos. Los ensayos fueron desarrollados en el laboratorio Central de la Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El objetivo principal del estudio fue encontrar el porcentaje de PEAD reciclado adicionado a la mezcla asfáltica con mejores resultados en base a sus propiedades (mecánicas y volumétricas). Para el logro del objetivo se utilizó la metodología Marshall, esta metodología está enfocada en diseñar mezclas

asfálticas y se basa en aplicar carga vertical diametral a un espécimen cilíndrico, la temperatura adecuada para el ensayo es 60°C, considerada la temperatura aproximada del pavimento en verano.

Los resultados obtenidos muestran una mejora debido a la adición de PEAD reciclado en la mezcla asfáltica en caliente. La adición de 0,5 % de PEAD reciclado logró la mayor ventaja; con este porcentaje de PEAD se obtuvo una estabilidad de 14,7 kN, un valor de flujo de 17,8, medido en 0,25 mm, 2,337 g/cm<sup>3</sup> de densidad, 4,0 % de vacíos, 19,4 % de VMA y 79,6 % de VFA. Los resultados de la mezcla asfáltica óptima fueron comparados con los resultados de la mezcla asfáltica convencional, el cual no cuenta con adición de PEAD reciclado, para este caso se obtuvo 10,3 kN de estabilidad, un flujo de 21,3, medido en 0,25 mm, 2,335 g/cm<sup>3</sup> de densidad, 4,5 % de vacíos, 20,3 % de VMA y 78 % de VFA.

La investigación concluye que el uso de PEAD reciclado como adición por vía seca en la mezcla asfáltica, técnicamente le atribuye mejores propiedades. De esta manera brinda otra posibilidad de su uso a fin de evitar su destino en rellenos sanitarios, botaderos, vertederos, ríos, entre otros.

## ABSTRACT

The annual production of plastic generates a large amount of waste materials; the final destination of these materials generates environmental problems. According to the Ministry of the Environment, each person uses, on average, 30 kg of plastic per year and daily in Metropolitan Lima and Callao 886 tons of plastic waste are generated, representing 46% of this waste nationwide.

This thesis focuses on the use of plastic waste identified as recycled High Density Polyethylene (HDPE), which, thanks to its thermal properties, can be used as an alternative method for modifying a hot asphalt mix. This is because the temperature at which the mixture is made a part of the recycled HDPE takes on a consistency such that it fulfills the function of interlocking between the aggregate particles. Moreover, the more volatile fraction will nest in the hydrocarbon chain of the asphalt, being able to modify its morphology and / or its rheological properties, without actually degrading.

The study began with the quality tests of the aggregates, these tests were obtained from the La Gloria quarry (located at km 14,5 of the Central highway, in the district of Ate). Quality tests on the fine aggregate and the coarse aggregate; PEN 60/70 asphalt characterization tests, as well as tests for the asphalt mix design were carried out. The addition (by dry way) of recycled HDPE was carried out, the addition was in percentages of 0,5 %, 1,0 % and 1,5 %, of the total weight of the aggregates, these percentages were compared with an asphalt mix without the addition of recycled HDPE in order to observe the behavior between them. The tests were developed in the Central Laboratory of the Directorate of Special Studies of the General Directorate of Roads and Railways of the Ministry of Transport and Communications.

The main objective of the study was to find the percentage of recycled HDPE added to the asphalt mix with the best results based on its properties (mechanical and volumetric). To achieve the objective, the Marshall methodology was used; this methodology is focused on designing asphalt mixtures and is based on applying diametrical vertical load to a cylindrical specimen, the appropriate temperature for the test is 60 ° C, considered the approximate temperature of the pavement in summer.

The results obtained show an improvement due to the addition of recycled HDPE in the hot mix asphalt. The addition of 0,5 % recycled HDPE achieved the greatest advantage; With this percentage of HDPE, a stability of 14,7 kN was obtained, a flow value of 17,8, measured in 0,25 mm, 2,337 g / cm<sup>3</sup> of density, 4,0 % voids, 19,4 % of VMA and 79,6 % VFA. The results of the optimal asphalt mix were compared with the results of the conventional asphalt mix, which does not have the addition of recycled HDPE, for this case 10,3 kN of stability was obtained, a flow of 21,3, measured in 0,25 mm, 2,335 g / cm<sup>3</sup> of density, 4,5 % voids, 20,3 % VMA and 78 % by VFA.

The research concludes that the use of recycled HDPE as a dry addition in the asphalt mix, technically attributes better properties to it. In this way, it offers another possibility of its use in order to avoid its destination in sanitary landfills, dumps, landfills, rivers, among others.

## PRÓLOGO

La producción de plásticos después de la segunda guerra mundial en todo el mundo se ha incrementado en miles de millones de toneladas y con mayor fuerza en las últimas décadas, y no es para menos debido a sus propiedades, se consumen en sus diferentes formas por desempeñar un papel importante en el crecimiento de diversos sectores de la industria como en la manipulación y preservación de alimentos. Sin embargo, el uso de este producto en general es de un solo uso, situación que genera grandes cantidades de residuos que, al no tener políticas de gestión en el manejo de los mismos, terminan impactando al medio ambiente especialmente el medio acuático, el mismo que en nuestro medio se replica con la misma intensidad.

La situación planteada debe ser mitigada con urgencia, siendo una de las formas el reciclado de estos materiales poliméricos, surgiendo para ello muchas alternativas modernas, y una de éstas se aborda en la presente investigación, planteando incorporar por vía seca Polietileno de Alta Densidad (PEAD) reciclado en la mezcla asfáltica.

Se realiza los diseños de las mezclas asfálticas por la metodología Marshall a fin de encontrar las dosificaciones óptimas, los resultados del estudio demuestran la mejora de algunas propiedades de la mezcla asfáltica en caliente para su aplicación en pavimentos de la infraestructura vial, dejando abierta la posibilidad de poder incluir este tipo de residuo polimérico. Por lo que motivo a los lectores a abordar futuras investigaciones tomando la presente como una experiencia y punto de partida para otras nuevas.

Agradezco la confianza depositada a mi persona para el desarrollo del presente estudio, donde como grupo de trabajo esperamos haber contribuido y marcado un punto de inicio para nuevas investigaciones.

Ing. Juan Apacla Caja

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Tipos de mezclas asfálticas en caliente .....	26
Tabla N° 2: Definición operacional de las propiedades a evaluar.....	27
Tabla N° 3: Causas y efectos de baja estabilidad en la mezcla asfáltica .....	29
Tabla N° 4: Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA) .....	32
Tabla N° 5: Análisis elemental del asfalto .....	47
Tabla N° 6: Selección del tipo de cemento asfáltico.....	55
Tabla N° 7: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado para penetración .....	56
Tabla N° 8 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad ...	56
Tabla N° 9: Pesos retenidos de material grueso para el ensayo de durabilidad. 69	
Tabla N° 10: Métodos del ensayo de abrasión Los Ángeles .....	70
Tabla N° 11: Pesos de agregados gruesos hasta de 1 1/2" .....	70
Tabla N° 12: Peso mínimo requerido para el ensayo de partículas chatas y alargadas.....	71
Tabla N° 13: cantidades mínimas de muestra para el ensayo de partículas fracturadas.....	73
Tabla N° 14: Cantidad y aforo mínimo de muestra para realizar la determinación de sales solubles .....	74
Tabla N° 15: Cantidades mínimas de muestra para el ensayo de peso específico y absorción .....	75
Tabla N° 16: Otras condiciones de Temperatura, carga y tiempo para el ensayo de penetración del asfalto.....	82
Tabla N° 17: Diferencia máxima entre el valor más alto y más bajo de penetración, según el valor del promedio .....	82
Tabla N° 18: Gradaciones para mezcla asfáltica en caliente (MAC) .....	88
Tabla N° 19: Gradaciones propuestas para mezclas densas.....	89
Tabla N° 20: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla patrón .....	90
Tabla N° 21: Dosificación en peso de la mezcla patrón .....	91
Tabla N° 22: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla patrón.....	93
Tabla N° 23: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica patrón .....	93
Tabla N° 24: Peso específico teórico máximo de la mezcla patrón .....	94
Tabla N° 25: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla patrón.....	94
Tabla N° 26: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla patrón .....	95
Tabla N° 27: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla patrón .....	96
Tabla N° 28: Factor de corrección de estabilidad.....	96
Tabla N° 29: Valores de estabilidad promedio de la mezcla patrón .....	97
Tabla N° 30: Valores de flujo promedio de la mezcla patrón.....	97
Tabla N° 31: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado. ....	98
Tabla N° 32: Dosificación en peso de la mezcla con 0.5% de PEAD .....	99
Tabla N° 33: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	100

Tabla N° 34: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado .....	100
Tabla N° 35: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	101
Tabla N° 36: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	101
Tabla N° 37: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	101
Tabla N° 38: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	102
Tabla N° 39: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	102
Tabla N° 40: Valores de flujo promedio de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	102
Tabla N° 41: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	103
Tabla N° 42: Dosificación en peso de la mezcla con 1.0 % de PEAD .....	104
Tabla N° 43: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	105
Tabla N° 44: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 1.0% de PEAD reciclado .....	105
Tabla N° 45: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	105
Tabla N° 46: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	106
Tabla N° 47: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	106
Tabla N° 48: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	106
Tabla N° 49: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	107
Tabla N° 50: Valores de flujo promedio de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	107
Tabla N° 51: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	108
Tabla N° 52: Dosificación en peso de la mezcla con 1.5% de PEAD .....	109
Tabla N° 53: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla para 1.5% de PEAD reciclado .....	110
Tabla N° 54: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 1.5% de PEAD reciclado .....	110
Tabla N° 55: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	110
Tabla N° 56: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	110
Tabla N° 57: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	111
Tabla N° 58: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	111

Tabla N° 59: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	111
Tabla N° 60: Valores de flujo promedio de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	112
Tabla N° 61: Resultados de ensayos de laboratorio para los agregados .....	113
Tabla N° 62: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla patrón .....	118
Tabla N° 63: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado .....	121
Tabla N° 64: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado .....	126
Tabla N° 65: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado .....	129
Tabla N° 66: Especificaciones de las propiedades de la mezcla asfáltica .....	130
Tabla N° 67: Comparación de propiedades de la mezcla asfáltica patrón y mezcla asfáltica modificada (0.5% de PEAD reciclado) .....	130
Tabla N° 68: Porcentajes en peso de los componentes de la mezcla patrón ...	131
Tabla N° 69: Cantidades de cada componente por cada m <sup>3</sup> de mezcla patrón	132
Tabla N° 70: Porcentajes en peso de los componentes de la mezcla con 0.5% de PEAD .....	132
Tabla N° 71: Cantidades de cada componente por cada m <sup>3</sup> de mezcla con 0.5% de PEAD .....	132
Tabla N° 72: Análisis del precio unitario de la mezcla asfáltica patrón .....	133
Tabla N° 73: Análisis del precio unitario de la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado .....	134

**LISTA DE FIGURAS**

Figura N° 1: Curva típica de estabilidad versus contenido de asfalto.....	28
Figura N° 2: Curva típica de flujo versus contenido de asfalto .....	30
Figura N° 3: Variación del comportamiento de una mezcla asfáltica en función al tiempo de aplicación de una carga (curva experimental) .....	34
Figura N° 4: Proceso de fabricación de una mezcla asfáltica modificada por vía húmeda con caucho .....	35
Figura N° 5: Ejemplo de gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall .....	41
Figura N° 6: Tipos de gradaciones del agregado .....	43
Figura N° 7 Poros y volúmenes en la masa del agregado.....	44
Figura N° 8 Forma, Angularidad y textura de la superficie del agregado.....	45
Figura N° 9: Esquema del método cromatográfico (SARA).....	48
Figura N° 10: Representación de estructuras saturadas .....	49
Figura N° 11: Representación de estructuras aromáticas. ....	49
Figura N° 12: Diagrama de flujo para asfalto de petróleo.....	50
Figura N° 13: Diagrama de la prueba de penetración .....	52
Figura N° 14: Comportamiento real del cemento asfáltico .....	53
Figura N° 15: Características del flujo de líquidos.....	54
Figura N° 16: Comparación del C.A. clasificado por penetración y viscosidad...	57
Figura N° 17: Polímero lineal .....	59
Figura N° 18: Polímero ramificado .....	59
Figura N° 19: Polímero entrecruzados .....	59
Figura N° 20: Polímero homopolímero.....	60
Figura N° 21: Polímero Copolímero .....	60
Figura N° 22: Proceso del proyecto .....	67
Figura N° 23: Calibrador proporcional.....	72
Figura N° 24: Verificación de una partícula chata y alargada.....	72
Figura N° 25: Equipo para determinar el peso aparente en agua.....	75
Figura N° 26: Equipo para el ensayo de equivalente de arena .....	77
Figura N° 27: Lectura de altura de arena .....	78
Figura N° 28: Molde cónico para la determinación de la condición saturada con superficie seca del material fino.....	80
Figura N° 29: Halo color azul claro alrededor de la gota. ....	81
Figura N° 30: Equipo de Copa abierta de Cleveland.....	83
Figura N° 31: Ensayo de ductilidad en materiales bituminosos.....	84
Figura N° 32: Frasco de Erlenmeyer, filtro de vidrio y crisol Gooch .....	85
Figura N° 33: Horno para la prueba TFOT .....	86
Figura N° 34: Nomograma para el cálculo del índice de penetración.....	87
Figura N° 35: Granulometría de la combinación – Mezcla patrón. ....	90
Figura N° 36: Granulometría de la combinación – Mezcla 0.5% PEAD reciclado .....	98
Figura N° 37: Granulometría de la combinación – Mezcla 1.0% PEAD reciclado .....	103
Figura N° 38: Granulometría de la combinación – Mezcla 1.5% PEAD reciclado .....	108
Figura N° 39: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%).....	114

Figura N° 40: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%) .....	115
Figura N° 41: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%) .....	116
Figura N° 42: Peso específico vs cemento asfáltico (%) .....	116
Figura N° 43: Estabilidad vs cemento asfáltico (%).....	117
Figura N° 44: Flujo vs cemento asfáltico (%) .....	117
Figura N° 45: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%).....	118
Figura N° 46: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%) .....	119
Figura N° 47: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%) .....	120
Figura N° 48: Peso específico vs cemento asfáltico (%) .....	120
Figura N° 49: Estabilidad vs cemento asfáltico (%).....	121
Figura N° 50: Flujo vs cemento asfáltico (%) .....	121
Figura N° 51: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%).....	122
Figura N° 52: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%) .....	123
Figura N° 53: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%) .....	124
Figura N° 54: Peso específico vs cemento asfáltico (%) .....	124
Figura N° 55: Estabilidad vs cemento asfáltico (%).....	125
Figura N° 56: Flujo vs cemento asfáltico (%) .....	125
Figura N° 57: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%).....	126
Figura N° 58: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%) .....	127
Figura N° 59: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%) .....	128
Figura N° 60: Peso específico vs cemento asfáltico (%) .....	128
Figura N° 61: Estabilidad vs cemento asfáltico (%).....	129
Figura N° 62: Flujo vs cemento asfáltico (%) .....	129

## LISTA DE SIGLAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

HMA: Hot mix asphalt.

MAC: Mezcla asfáltica en caliente.

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú.

PEAD: Polietileno de alta densidad.

PEBD: Polietileno de baja densidad.

PET: Polietileno tereftalato.

PP: Polipropileno.

PS: Poliestireno.

PVC: Policloruro de vinilo.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

TFOT: Thin Film Oven Test.

Va: Vacíos de aire.

VFA: Vacíos llenados de asfalto.

VMA ó VAM: Vacíos en el agregado mineral.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

En la preocupación de las entidades estatales por mejorar la calidad de vida de la población prioriza facilitar el acceso a los servicios básicos, identificando, entre ellos, la necesidad de contar con vías de transporte con buenas características, por ser un factor importante para el desarrollo del país. Para ello una de las iniciativas actuales es mejorar la superficie de rodadura de las carreteras con el menor costo posible. Sin embargo, la exigencia de tener carpetas asfálticas con mejor performance, genera la utilización de nuevos materiales como es el caso de los polímeros, el uso de asfaltos modificados con polímeros se ha incrementado paulatinamente en los últimos años, dando en la mayoría de los casos excelentes resultados. No obstante, para la obtención de los asfaltos modificados con polímeros es necesario de tecnología sofisticada, que sumado al alto costo de los polímeros resulta que la carpeta asfáltica acrecienta su costo.

En el presente estudio se plantea el uso de un material de desecho, con la finalidad de además de evitar su impacto ambiental, se emplee como aditivo por vía seca a la mezcla asfáltica en caliente el PEAD reciclado, evaluando su influencia en las propiedades de la mezcla.

La investigación está dividida en seis capítulos: El capítulo I presenta los estudios más relevantes realizados anteriormente acerca del tema de investigación, se enuncia la problemática, los objetivos e hipótesis. El capítulo II, describe los principales conceptos sobre mezclas asfálticas, así como sus componentes, agregados, asfalto, por otro lado, se menciona aspectos teóricos de los polímeros y plásticos, con mayor énfasis en el polietileno de alta densidad (PEAD). En el capítulo III, se presenta la metodología de investigación utilizada en el presente estudio. En el capítulo IV, se expone sobre los ensayos de calidad realizados a los componentes de la mezcla. El capítulo V, se realiza los diseños de las mezclas asfálticas por la metodología Marshall a fin de encontrar las dosificaciones óptimas. En el capítulo VI, se realiza un análisis de los resultados de los ensayos de calidad de los agregados, asfalto y de la mezcla asfáltica. Culminando con las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el estudio.

### 1.2. ANTECEDENTES

En los últimos años se ha tomado conciencia sobre la contaminación ambiental, generada por desechos de difícil desintegración y no biodegradable como es el plástico y por sus características moldeables se puede aprovechar en el desarrollo de nuevas tecnologías para la construcción de pavimentos flexibles de carreteras que permitan preservar el ecosistema. Para ello una de las iniciativas de investigación en la actualidad es evaluar el efecto que tendría la adición de estos materiales en el diseño de mezclas asfálticas que estén ligados al cuidado del medio ambiente.

Para lo anterior, Corbacho (2019) en su estudio titulado Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco, Intenta identificar como va mejorando el comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente, usando polietileno tereftalato (PET) mediante vía seca. El diseño se realiza mediante el ensayo Marshall tanto para la mezcla asfáltica convencional como para la mezcla con adiciones de PET, para determinar el contenido óptimo de los componentes. Finalmente se realizaron pruebas de desempeño como la rueda cargada de Hamburgo, donde la mezcla asfáltica modificada alcanzó 7660 pasadas frente a 6166 de la mezcla convencional, ambas con una profundidad de huella de 12.5mm, ensayo Lottman modificado, para la mezcla modificada se obtuvo un valor de resistencia a la tracción indirecta de 83.90% frente a 91.80% que obtuvo la mezcla convencional, siendo el requisito mínimo según el manual de carreteras EG-2013 de 80%. En cuanto al módulo dinámico, se obtuvo valores más altos para la mezcla convencional, 3300Mpa frente a 2079Mpa para 20°C y de 2162Mpa frente a 1377Mpa para 25°C. En el diseño Marshall presenta un porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla de 6.15% y de fibras PET de 1.2%, obteniendo una estabilidad de 856.3 kg y un flujo de 14.7 (0.25mm), mientras que la mezcla convencional obtuvo un óptimo de asfalto de 6.15%, una estabilidad de 938 kg y un flujo de 13.8 (0.25mm).

Según Silvestre (2017) en su trabajo de investigación, Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima, busca determinar un mejor comportamiento de la carpeta asfáltica modificada con adiciones de plástico reciclado PET por vía seca, comparándola con una carpeta asfáltica tradicional. Para lo cual realiza tres

ensayos Marshall para la mezcla modificada, para 0.5%, 0.1% y 1.5% de adiciones PET y un ensayo Marshall para la mezcla convencional, dando como resultado un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5.6% para la mezcla convencional y de 5.8% para la mezcla modificada con 1% de PET, para la estabilidad de la mezcla modificada se refleja un aumento de 3.11% frente a la mezcla convencional y en cuanto al índice de rigidez, se obtuvo 3788 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla convencional y 3966 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla modificada reflejando un incremento de 4.49%. Finalmente calcula el costo de la mezcla asfáltica por m<sup>3</sup>, siendo de S/ 540.12 para la convencional y de S/ 525.89 para la modificada, representando un ahorro del 2.63%, considerando los precios unitarios correspondientes a la fecha de investigación, año 2017.

Berrio (2017), en su tesis de investigación, Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo msc-19 con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado como agregado constitutivo, se basó en el análisis de las mezclas asfálticas semidensas con adición de PET, a través de sus parámetros volumétricos, estabilidad, flujo, módulo resiliente y deformación plástica, encontrando un aumento del 37% en el módulo resiliente y una disminución del 42% en la velocidad de deformación plástica para una mezcla asfáltica semidensa con 5.3% de contenido óptimo de asfalto con adición de 1% de PET en tamaños de 0.5 a 2mm, resultando una estabilidad de 1367.9 kg, flujo de 3.4mm, porcentaje de vacíos de 3.4% y módulo resiliente de 12251 Mpa, concluyendo que es una alternativa viable para la construcción de proyectos de infraestructura vial.

Ballena (2016), en su tesis titulada Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío, utiliza fibras de polietileno reciclado de botellas de plástico de diferentes rangos de tamaño y en porcentajes de 1, 2, 3, 5, 7 y 10% para modificar una mezcla asfáltica en frío, comparándola con una mezcla convencional. Se concluye que, al adicionar la fibra de polietileno a la mezcla asfáltica en frío, esta reduce sus propiedades y se vuelve inestable, además la mezcla después de su compactación se desmorona, por lo que no se recomienda el uso de fibras de polietileno en mezclas asfálticas en frío.

Romero, Huertas y Cazar (2015) en su investigación Diseño y evaluación de mezclas asfálticas en calientes características de pavimentos flexibles o

bituminosos con la adición de tereftalato de polietileno como material constitutivo, buscan darle una utilidad a la gran cantidad de desechos plásticos generados como material constitutivo adicional de mezclas asfálticas en caliente. Se realizó ensayos Marshall a una mezcla patrón sin adiciones y a una mezcla adicionando PET en formas de fibra (8mm de largo y 3mm de ancho), triturado pasante el tamiz 3/8 y retenido en el tamiz N°4, triturado pasante el tamiz N°10 y retenido en el tamiz N°40, siendo esta última la que tuvo mejores resultados, presentando valores superiores de estabilidad y flujo, obteniendo un pavimento resistente, pero con mayor capacidad de deformación.

### 1.3. PROBLEMÁTICA

En el país, los pavimentos flexibles no alcanzan la vida útil para el que fueron diseñados, esto debido principalmente a factores en su construcción como la calidad de los materiales que los componen, la dosificación, el procedimiento constructivo y una falta de control del peso vehicular por eje en la etapa de operación. Originando deterioros que provocan una considerable disminución de la resistencia y durabilidad de la estructura, e importantes pérdidas económicas para el país y una disminución del valor de su patrimonio vial.

Actualmente la duración de las carpetas asfálticas con asfaltos convencionales se ha visto afectadas por una mayor demanda de tráfico, por cargas superiores a las especificadas y por las características del clima y temperatura del ambiente en el que son expuestas. Es ante esta necesidad que nace el desarrollo de los asfaltos modificados con polímeros, siendo una alternativa viable, desarrollada con buenos resultados en muchos países logrando así que los pavimentos alcancen la vida útil para el cual fueron diseñados (Herencia, 2001).

En el Perú, se viene desarrollando a escalas moderadas el uso de los asfaltos modificados con polímeros, sin embargo, por razones económicas relacionadas a la tecnología sofisticada para su obtención y al alto costo de los polímeros su empleo no es masivo.

Por otro lado, Vila (2016), dice que a pesar de la versatilidad que tienen los plásticos en la fabricación de productos y diversas aplicaciones, ha generado que crezca la cantidad de residuos plásticos que la sociedad debe afrontar. En el país de acuerdo con el Ministerio del Ambiente, cada persona utiliza, en promedio, 30

kg de plástico al año y diariamente en Lima Metropolitana y el Callao se genera 886 toneladas de residuos plásticos, esto representa el 46% de estos residuos a nivel nacional. Sumado a esto la falta de información por parte de las autoridades del manejo de estos desechos y falta de políticas de gestión de reciclaje los residuos plásticos son una fuente importante de contaminación continua que genera impacto al medio ambiente.

Ante el panorama expuesto, y en la necesidad de búsqueda de una solución, se investigan nuevas alternativas en el diseño de mezclas asfálticas que no solo aporten características técnicas como la resistencia y durabilidad, sino que también se plantee la alternativa de utilizar los residuos de plásticos, que en gran porcentaje no se llega a reciclar, como es el caso del polietileno de alta densidad, generando menores gastos en la elaboración de la mezcla.

#### 1.3.1. Problema Principal

- ¿Cómo influye la adición por vía seca de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) reciclado en el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente para rodadura?

#### 1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál será el porcentaje óptimo de asfalto y del PEAD reciclado en la mezcla asfáltica en caliente para rodadura según la metodología Marshall?
- ¿Cuáles serán las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica en caliente con adición por vía seca de PEAD reciclado en comparación con la mezcla asfáltica en caliente convencional para el diseño óptimo según la metodología Marshall?
- ¿El empleo de PEAD reciclado por vía seca en una mezcla asfáltica en caliente tiene justificación técnica, económica y ambiental?

### 1.4. OBJETIVOS

#### 1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia de la adición por vía seca del PEAD reciclado en el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente para rodadura.

#### 1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje óptimo de asfalto y PEAD reciclado de la mezcla asfáltica en caliente para rodadura según la metodología Marshall.
- Determinar las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica en caliente con adición por vía seca de PEAD reciclado y compararlo con la mezcla asfáltica en caliente convencional para el diseño óptimo según la metodología Marshall.
- Determinar si el empleo de PEAD reciclado por vía seca en una mezcla asfáltica en caliente tiene justificación técnica, económica y ambiental.

### 1.5. HIPÓTESIS

#### 1.5.1. Hipótesis general

- La adición por vía seca del PEAD reciclado mejorará el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente para rodadura.

#### 1.5.2. Hipótesis específicas

- Mediante la metodología Marshall se obtendrán cantidades óptimas de los contenidos de asfalto y PEAD reciclado, los cuales son parte de la mezcla asfáltica en caliente para rodadura.
- La mezcla asfáltica en caliente con adición por vía seca de PEAD reciclado presenta mejores propiedades mecánicas y volumétricas comparado con la mezcla asfáltica en caliente convencional para el óptimo diseño según la metodología Marshall.
- El empleo de PEAD reciclado en una mezcla asfáltica en caliente tiene justificación técnica, económica y ambiental.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1. Pavimento

##### *2.1.1.1. Definición general*

Los pavimentos son estructuras viales multicapa, ya que están conformados por un conjunto de capas relativamente horizontales y superpuestas, que a su vez, se componen por materiales seleccionados. Los pavimentos se diseñan con el objetivo de cumplir dos funciones durante el periodo para el cual fue diseñado, la primera para resistir las cargas de los vehículos y los factores ambientales, llamada función estructural, y una segunda para brindar confort y seguridad al usuario, referida al objetivo funcional (Rondón & Reyes, 2015).

##### *2.1.1.2. Clasificación de los pavimentos*

Según Montejo (2002) los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

##### *2.1.1.3. Pavimentos flexibles*

La estructura de los pavimentos flexibles está conformada por dos capas no rígidas, la subbase y base, y sobre esta se apoya una capa bituminosa (Montejo, 2002).

#### 2.1.2. Mezcla Asfáltica

##### *2.1.2.1. Definición general*

Se denomina mezcla asfáltica a la combinación de agregados y ligante asfáltico, en proporciones exactas, siendo la calidad y la cantidad de estos materiales en la mezcla lo que va a determinar su desempeño (Instituto del Asfalto, 2001).

Las mezclas asfálticas cumplen un rol importante en cuanto a pavimentos flexibles respecta, debido no solo por los grandes volúmenes para su conformación, sino

también porque resulta ser la que mayor inversión requiere (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005).

#### *2.1.2.2. Composición de la mezcla asfáltica*

Las mezclas asfálticas se componen por agregados pétreos y un ligante asfáltico. Las proporciones de cada uno de sus componentes son definidas previamente en un laboratorio, a pesar de tener esta composición básica y ser elaborados comúnmente en planta, en algunos casos, pueden fabricarse in situ (Rondón & Reyes, 2015).

#### *2.1.2.3. Clasificación de mezcla asfáltica*

Garnica et al. (2005), señalan que las mezclas asfálticas se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, es así que de acuerdo al parámetro considerado se tienen las siguientes clasificaciones:

##### *a) Clasificación según las fracciones de agregado pétreo*

- Mástico asfáltico, conformado por polvo mineral y cemento asfáltico.
- Mortero asfáltico, conformado por agregado fino y mástico asfáltico.
- Macadam asfáltico, conformado por agregado grueso y cemento asfáltico.
- Concreto asfáltico, conformado por agregado grueso y mortero asfáltico.

##### *b) Clasificación según el porcentaje de vacíos*

- Mezclas densas o cerradas, menos del 6% de porcentaje de vacíos.
- Mezclas semidensas o semicerradas, entre 6% y 12% de porcentaje de vacíos.
- Mezclas abiertas, entre 12% y 18% de porcentaje de vacíos.
- Mezclas porosas, más del 20% de porcentaje de vacíos.

##### *c) Clasificación según la estructura de los materiales pétreos*

- Mezclas con esqueleto mineral

- Mezclas sin esqueleto mineral

*d) Clasificación según la curva granulométrica*

- Mezclas continuas, su granulometría tiene una buena distribución de tamaños.
- Mezclas discontinuas, su granulometría tiene una distribución limitada de tamaños.

*e) Clasificación según la temperatura de fabricación*

Ulloa (2011), dice que las mezclas asfálticas se pueden clasificarse en:

- Mezclas asfálticas en frío (MAF): Se mezclan a temperatura ambiente y se puede usar emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados.
- Mezclas asfálticas semi – tibias (MAST): Se mezclan a temperaturas mayores al ambiente, pero por debajo de la temperatura de vaporización del agua (100°C).
- Mezclas asfálticas tibias (MAT): Producidos en un rango de temperatura de 120°C a 140°C.
- Mezclas asfálticas en caliente (MAC): La temperatura de mezclado varía entre 150°C y 180°C.

#### *2.1.2.4. Mezcla asfáltica en caliente*

*a) Definición general*

Las mezclas asfálticas en caliente (MAC), según Montejo (2015), son llamadas de esa manera, porque tanto el agregado pétreo como el asfalto, se calientan antes del mezclado, a fin de secar el agregado y hacer fluido el asfalto, obteniendo una buena trabajabilidad de la mezcla. En el país, las capas de rodadura que cumplen un desempeño estructural, en su mayoría están compuestas por mezclas asfálticas en caliente.

### *b) Composición de la mezcla asfáltica en caliente*

Este tipo de mezcla, en base a Garnica et al. (2005), está compuesta, con respecto a la masa total de la mezcla, por:

- 93 a 97 % de agregado pétreo
- 3 a 7 % de asfalto

### *c) Clasificación de la mezcla asfáltica en caliente*

Según Minaya y Ordoñez (2006), las mezclas asfálticas en caliente, de acuerdo a la gradación de los agregados que la componen pueden clasificarse en: densa, abierta (open graded) y discontinua (gap graded).

- Gradación densa, tiene una distribución uniforme de partículas de agregado grueso y fino, estas mezclas son relativamente impermeables.
- Gradación abierta (open graded), compuesta principalmente solo por piedra triturada y se diseñan para ser permeables al agua.
- Gradación discontinua (gap graded), tiene agregados de tamaño grueso y fino, pero con poca presencia de tamaños intermedios.

La Tabla N° 1: Tipos de mezclas asfálticas en caliente, presenta un resumen de la clasificación de las mezclas asfálticas en caliente.

#### *2.1.2.5. Clasificación de la mezcla asfáltica en caliente de gradación densa*

Las mezclas asfálticas en caliente con gradaciones densas se subdividen en gradación continua o HMA convencional, large-stone mix, y mezcla arena-asfalto (Minaya y Ordoñez, 2006). A continuación, se describe cada una de ellas:

##### *a) Mezclas convencionales de HMA*

En su composición tiene agregados con gradación uniforme, mezclados con asfalto, poseen bajos contenidos de porcentaje de vacíos (de 3 a 9%), la temperatura para realizar la mezcla y luego la compactación, varía en función a la

viscosidad del cemento asfáltico, por lo general entre 140°C y 180°C (Rondón y Reyes, 2015).

*b) Large-stone mix*

El tamaño máximo nominal de sus agregados gruesos es mayor a 25mm (1 pulg.), a diferencia de las mezclas convencionales, tienen una mayor fracción de agregados gruesos (mayores a la malla N°4); es por esta razón que su compactación debe ser controlada, a fin de no fracturar la estructura del agregado pétreo (Minaya y Ordoñez, 2006).

*c) Asfalto-arena*

Contienen agregados que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8"); debido a que el porcentaje de vacíos que presenta su estructura es mayor al de una mezcla HMA convencional, el contenido de cemento asfáltico es mayor; los agregados para esta mezcla, son arenas chancadas o naturales con textura rugosa; presentan una baja resistencia a las deformaciones permanentes (Minaya y Ordoñez, 2006).

Tabla N° 1: Tipos de mezclas asfálticas en caliente

Gradación densa	Open-graded	Gap-graded
Convencional Tamaño máximo nominal usualmente de 12.5 a 19mm (0.5 a 0.75 pulg.)	Porous friction course	Gap-graded convencional
Large-stone Tamaño máximo nominal usualmente de 25 a 37.5mm (1 a 1.5 pulg.)	Base permeable tratada con asfalto	Stone Mastic Asphalt (SMA)
Arena asfalto Tamaño máximo nominal menos que 9.5 mm (0.375pulg.)		

FUENTE: Minaya y Ordoñez (2006)

*2.1.2.6. Definición operacional del tipo de mezcla asfáltica a utilizar*

En el presente estudio, el tipo de mezcla utilizada será: Concreto asfáltico o mezcla asfáltica densa (convencional) en caliente para rodadura.

*2.1.2.7. Propiedades de la mezcla asfáltica*

Según Garnica, Delgado, Gómez, Alonso y Alarcón (2004), las propiedades de una mezcla asfáltica compactada a considera son:

- Vacíos de aire (Va).
- Vacíos en el agregado mineral (VMA).
- Vacíos llenados con asfalto (VFA).
- Contenido de asfalto efectivo (Pbe).

Según el Instituto del Asfalto (2001), existen algunas propiedades que aportan en la calidad de los pavimentos elaborados con mezclas asfálticas en caliente, estas son:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Trabajabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento

Para efectos del presente estudio, y de acuerdo a la metodología Marshall se analizaron las propiedades que se muestran en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Definición operacional de las propiedades a evaluar

PROPIEDADES MECÁNICAS	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad</li> <li>• Flujo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad</li> <li>• Vacíos de aire</li> <li>• Vacíos llenados con asfalto</li> <li>• Vacíos en el agregado mineral</li> </ul>

## a) Propiedades mecánicas

### i. Estabilidad

Esta propiedad le asigna a la mezcla asfáltica, resistencia al desplazamiento y deformación bajo la acción de cargas repetidas debido al tráfico; el valor de la estabilidad por un lado se debe a la fricción interna de los agregados gracias a su forma y textura, y por otro a la cohesión que le proporciona el ligante. La cohesión aumenta en función al aumento del contenido de asfalto en la mezcla hasta cierto punto en donde la cantidad de asfalto impide la fricción entre partículas, por lo que el valor de la estabilidad tiende a disminuir (Instituto del asfalto, 2001). En la Figura N° 1: Curva típica de estabilidad versus contenido de asfalto, se puede apreciar la tendencia que, a mayores contenidos de asfalto, aumenta el valor de la estabilidad hasta un valor pico, luego el valor de la estabilidad disminuye, debido a la pérdida de fricción entre las partículas. En la Tabla N° 3: Causas y efectos de baja estabilidad en la mezcla asfáltica, se muestra las posibles causas y sus efectos asociados, por la que una mezcla asfáltica en caliente presenta baja estabilidad.

Para el presente estudio, la estabilidad será medida en kilonewtons (kN) y su valor será obtenido del ensayo Marshall.

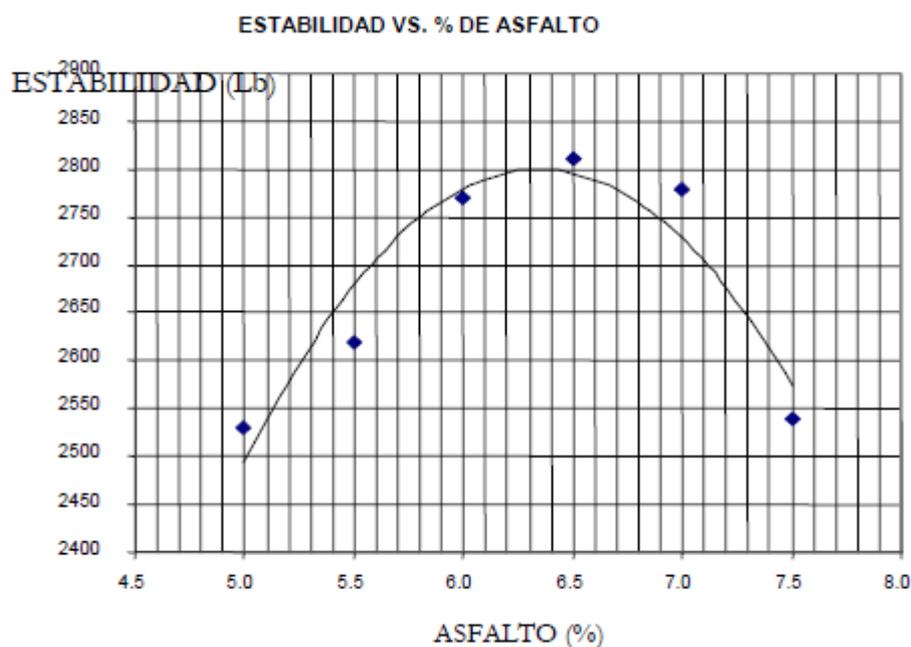


Figura N° 1: Curva típica de estabilidad versus contenido de asfalto

FUENTE: Minaya y Ordoñez (2006)

Tabla N° 3: Causas y efectos de baja estabilidad en la mezcla asfáltica

Causa	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento, y afloramiento y exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o pocas superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

FUENTE: Instituto del asfalto (2001)

*ii. Flujo*

El flujo se puede asociar al potencial de deformación permanente en mezclas asfálticas en caliente con gradación densa, y se define como la deformación vertical total del espécimen bajo la acción de una carga máxima, punto en el cual la carga empieza a disminuir; si el valor del flujo es superior a 0.16 pulgadas puede que la mezcla presente inestabilidad al estar sometida a la acción de cargas repetitivas de tráfico (Minaya y Ordoñez, 2006).

En la Figura N° 2: Curva típica de flujo versus contenido de asfalto, se muestra una curva típica del valor del flujo en función del contenido de asfalto, como se puede notar, a mayores contenidos de asfalto en la mezcla, el valor del flujo aumenta.

El contenido de asfalto le da mayor durabilidad a la mezcla, entendiéndose durabilidad, como la capacidad para resistir a factores externos como lo es la desintegración de los agregados (Minaya y Ordoñez, 2006).

Para efectos de la presente investigación, el flujo será medido en 0.25 mm o 0.01” y su valor será obtenido del ensayo Marshall.

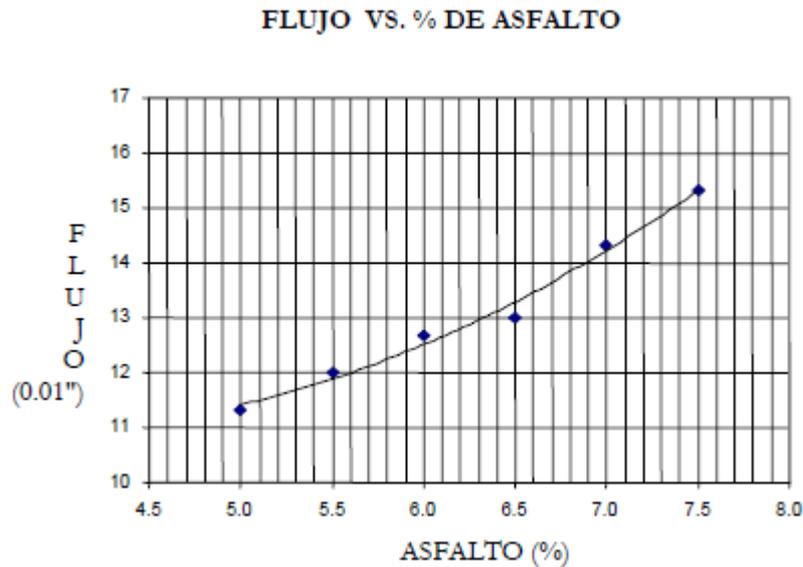


Figura N° 2: Curva típica de flujo versus contenido de asfalto

FUENTE: Minaya González y Ordoñez Huamán (2006)

### b) *Propiedades Volumétricas*

#### i. *La densidad de la mezcla*

Se define como la relación del peso de la mezcla por unidad de volumen; esta propiedad no es utilizada en el diseño de mezclas asfálticas, sino más bien en el control de la compactación, la obtenida en el laboratorio se denomina densidad patrón y servirá como referencia para hacer los controles en obra, su valor está en función al contenido de aire en la mezcla, es así que a mayor porcentaje de aire las mezclas serán menos densas, y viceversa (Minaya y Ordoñez, 2006)

Para el presente estudio, la densidad será medida en gramos por centímetros cúbicos ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y su valor será obtenido del ensayo Marshall luego de la compactación.

#### ii. *Los vacíos de aire o vacíos*

Estos vacíos de aire se forman por el aire atrapado luego de la compactación de la mezcla; en el diseño de mezclas asfálticas en caliente en laboratorio el rango de contenido de vacíos está entre 3 y 5%, sin embargo, este contenido de vacíos

de la mezcla puesta en obra puede alcanzar hasta el 8%, ya que luego será compactada por la acción de las cargas de tráfico (Minaya y Ordoñez, 2006).

Altos contenidos de aire, darán como resultado una mezcla porosa, el cual permite el paso del agua por su estructura, además se produce la oxidación del asfalto por la presencia de mayores contenidos de aire. Por otro lado, tampoco son convenientes mezclas asfálticas con bajos contenidos de aire, ya que, al estar expuestas a cargas de tráfico, se comprimen haciendo que el asfalto ocupe los lugares vacíos de la estructura de la mezcla, pero siendo estos espacios insuficientes, por lo que al asfalto no le queda otro camino que salir hacia la superficie, lo cual se conoce como exudación. (Minaya y Ordoñez, 2006).

Para efectos del presente estudio, los vacíos de aire serán medidos en porcentaje del volumen total de la mezcla asfáltica (%) y dicho porcentaje será obtenido del ensayo Marshall luego de su compactación.

### *iii. Los vacíos en el agregado mineral (VMA)*

Son los espacios vacíos de aire más el espacio ocupado por el contenido efectivo de asfalto en la mezcla, entendiéndose como asfalto efectivo al volumen total del asfalto menos el volumen de asfalto que los agregados absorben, es entonces que el VMA representa el volumen disponible que tiene la mezcla para acomodar el asfalto efectivo y el contenido de vacíos (Instituto del asfalto, 2001).

Bajos porcentajes de VMA harán que la película de asfalto que rodea a los agregados sea más delgada exponiéndola a que se oxide, altos porcentajes de VMA dotaran de una capa más gruesa de asfalto que cubre las partículas de los agregados, haciendo que la mezcla sea más durable. Por lo tanto, para el diseño de mezclas asfálticas se debe considerar un valor mínimo de VMA el mismo que está en función del tamaño del agregado. (Minaya y Ordoñez, 2006).

Para efectos del presente estudio, los vacíos en agregado mineral serán medidos en porcentaje del volumen total de la mezcla asfáltica (%) y dicho porcentaje será obtenido del ensayo Marshall, luego de la compactación de la mezcla. En la Tabla N° 4: Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA), se muestran las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013) para vacíos en agregados minerales (VMA).

Tabla N° 4: Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

FUENTE: EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013).

*iv. Los vacíos llenos de asfalto (VFA)*

Representa la porción en porcentaje que ocupa el asfalto efectivo en el volumen de vacíos del agregado mineral (VMA) (Garnica et al., 2004). El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) se obtiene luego de restar los vacíos de aire ( $V_a$ ) a los vacíos en el agregado mineral (VMA) y dividir la diferencia entre el VMA. (Instituto del Asfalto, 2001)

Para efectos del presente estudio, los vacíos llenados con cemento asfáltico serán medidos en porcentaje de la mezcla asfáltica (%) y dicho porcentaje será obtenido del ensayo Marshall.

*v. Contenido de asfalto*

Es la cantidad de asfalto que se añade a la mezcla antes de su compactación. De acuerdo a las características de los agregados, una parte de este contenido será absorbido (asfalto absorbido) y otro porcentaje recubrirá las partículas, formando una película de asfalto (asfalto efectivo) (Minaya y Ordoñez, 2006).

La granulometría y el porcentaje de absorción de los agregados influyen en el contenido óptimo de asfalto de la mezcla. Si la gradación contiene mayor cantidad de finos, mayor será la cantidad de asfalto para cubrir los agregados, ya que el área superficial de este aumenta; el efecto contrario ocurre si posee una gradación

más gruesa porque el área superficial de los agregados se reduce (Instituto del Asfalto, 2001).

Para efectos del presente estudio, el contenido de asfalto será medido en porcentaje del peso total de la mezcla asfáltica (%); el porcentaje de cemento asfáltico agregado en las muestras de mezclas asfálticas se describirá en el capítulo metodológico del mismo.

#### *2.1.2.8. Comportamiento de la mezcla asfáltica*

El comportamiento de una mezcla asfáltica va a depender de las propiedades particulares que sus componentes (agregados y asfalto) aportan, y de la interacción que se genera entre ellas como conjunto (Garnica P. et al., 2005).

Debido a la integración de los componentes y de sus comportamientos individuales, según Cepeda (2002) citado por Garnica et al. (2005), las mezclas asfálticas presentan un comportamiento visco-elástico-plástico, atribuyendo a los agregados un comportamiento elástico-plástico y al asfalto un comportamiento viscoso-elástico.

En la Figura N° 3: Variación del comportamiento de una mezcla asfáltica en función al tiempo de aplicación de una carga (curva experimental) , se grafica los tres tipos de comportamiento de la mezcla asfáltica.

De acuerdo con Garnica et al. (2005), existen factores relacionados con la composición de la mezcla asfáltica los cuáles van a influir en su comportamiento, tales como: la naturaleza del cemento asfáltico, contenido de asfalto, porcentaje de vacíos de la mezcla, granulometría de los agregados, forma y textura del agregado pétreo, contenido de finos.

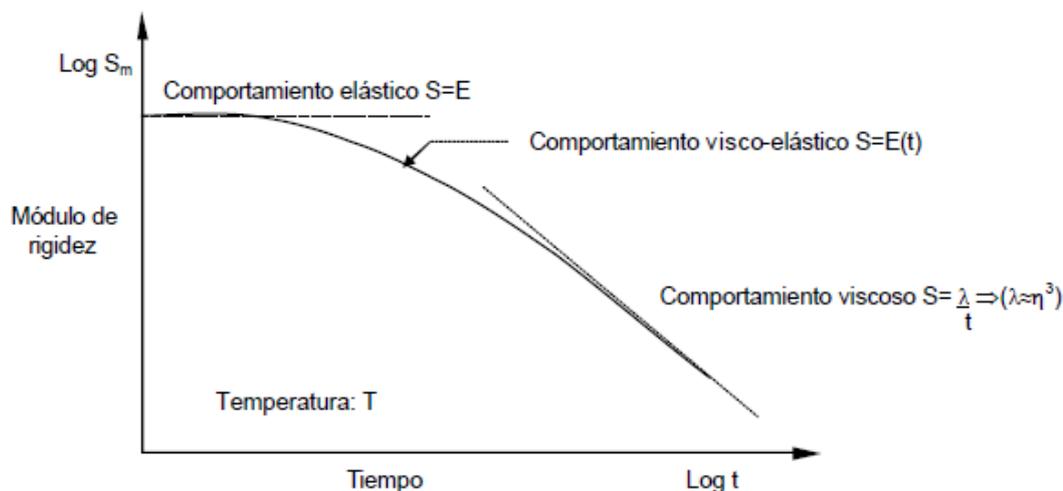


Figura N° 3: Variación del comportamiento de una mezcla asfáltica en función al tiempo de aplicación de una carga (curva experimental)

FUENTE: Garnica Anguas, Flores Flores, Gómez Lopez, y Delgado Alamilla (2005)

#### 2.1.2.9. Mezclas asfálticas modificadas

Con el objetivo de modificar las propiedades de una mezcla asfáltica con el uso de aditivos o polímeros, existen dos procedimientos para poder agregar los mismos en la composición final de la mezcla, a lo que se conoce como modificación por vía húmeda y modificación por vía seca (Rondón y Reyes, 2015).

##### a) Mezclas asfálticas modificadas por vía húmeda

Por vía húmeda, lo que se busca es modificar las propiedades del asfalto agregando el aditivo o polímero directamente al ligante cuando se encuentra a altas temperaturas, ya modificado el asfalto se mezcla con los agregados dando origen a una mezcla asfáltica modificada (Rondón y Reyes, 2015).

La Figura N° 4: Proceso de fabricación de una mezcla asfáltica modificada por vía húmeda con caucho, ilustra la técnica que se utiliza para obtener una mezcla asfáltica modificada por vía húmeda.

##### b) Mezclas asfálticas modificadas por vía seca

Por vía seca, el aditivo o polímero se añade a los agregados que están a altas temperaturas, reemplazando parte de este (por lo general las fracciones más

finas) obteniendo así una mezcla asfáltica modificada por vía seca (Rondón y Reyes, 2015).



Figura N° 4: Proceso de fabricación de una mezcla asfáltica modificada por vía húmeda con caucho

FUENTE: Rondón y Reyes (2015)

Existen ciertas desventajas sobre la metodología por vía húmeda, el costo de la mezcla es más alto y al requerir temperaturas altas significa un mayor uso de energía, en cuanto a la metodología por vía seca, el tiempo de compactación de la mezcla resulta mayor, al igual que la cantidad de ligante asfáltico; a pesar de ello, esta metodología es más económica que la anterior al requerir menor costo en materiales y maquinaria, sin embargo el mejor comportamiento de las mezclas asfálticas se obtiene cuando el proceso de modificación se realiza por vía húmeda (Rondón y Reyes, 2015).

#### 2.1.2.10. Métodos de diseño de mezclas asfálticas

En general, el diseño de una mezcla asfáltica, implica la elección de una estructura del agregado, elección el tipo de asfalto; para luego elaborar especímenes de prueba con diferentes proporciones de asfalto, realizando una adecuada compactación, determinando sus propiedades volumétricas; y finalmente determinar el óptimo contenido de asfalto (Garnica P. y col., 2005).

A lo largo de los años se han empleado diferentes metodologías para el diseño de mezclas asfálticas, siendo las principales: El método Hveem, Marshall y Superpave. En la presente investigación se emplea el método Marshall, ya que hasta la actualidad es el de mayor uso en el país.

### 2.1.3. Método de diseño de mezcla asfáltica Marshall

#### 2.1.3.1. Descripción general del método Marshall

En varios países dentro de los métodos más utilizados para diseño de mezclas asfálticas sigue siendo el Método Marshall. El método de diseño de mezclas Marshall se debe su nombre por el creador del método, el ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi, Bruce Marshall, método que después fue mejorado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. (Garnica et al., 2005).

El objetivo del método Marshall, además de proveer información sobre sus propiedades es encontrar el contenido óptimo de asfalto basado en un procedimiento específico de calentamiento, mezclado y compactado de especímenes de asfalto-agregado de 64 mm (2 ½") de altura y 102 mm (4") de diámetro (Instituto del asfalto, 2001).

#### 2.1.3.2. Aplicación del método Marshall

La aplicación del método se limita a mezclas asfálticas en caliente con tamaño máximo de agregados de 25 mm (1"), para el caso de tamaños superiores a 38mm (1 ½") se emplea el método Marshall modificado (Garnica P. et al., 2005).

#### 2.1.3.3. Aspectos principales del método Marshall

Según Garnica et al. (2005), existen dos aspectos principales a tener en cuenta del método Marshall de diseño de mezclas asfálticas, y son:

- La densidad-análisis de vacíos de los especímenes compactados
- La prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados

En el método Marshall se debe cumplir requisitos para la granulometría de los agregados y las propiedades volumétricas de la mezcla; siendo establecidas las especificaciones de calidad de los agregados y el asfalto, por el órgano competente de cada país (Garnica et al., 2005), en el Perú, la entidad encargada de brindar estos criterios es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) a través del Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Cada tipo de agregado y asfalto presentan diferentes características que tienen un impacto directo sobre la naturaleza de la mezcla del pavimento por lo que es importante definir las cualidades que se desea que cumpla la mezcla, para luego seleccionar un tipo de agregado y asfalto, que al mezclarse puedan adoptar las cualidades esperadas. Una vez hecho esto se puede empezar con la preparación de los ensayos (Instituto del Asfalto, 2001).

#### *2.1.3.4. Selección de muestras*

El Instituto del Asfalto (2001), recomienda que los agregados y el asfalto que se va a usar para realizar los diseños de mezcla en laboratorio, tengan similares características a los materiales que se van a usar finalmente en obra, ya que la variedad de sus características generaría problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta la temprana falla de la carpeta asfáltica.

#### *2.1.3.5. Preparación del agregado*

Como parte del procedimiento previo al ensayo Marshall, se realizan: el secado de los agregados, la determinación de su peso específico y un análisis granulométrico.

##### *a) Secado del agregado*

A fin de eliminar la humedad presente en los agregados para que no afecte los resultados del ensayo, se lleva a secar al horno a una temperatura promedio de 110°C, luego de un tiempo se registra su peso y nuevamente es llevado al horno, repitiendo la secuencia hasta que no haya variación en el peso (Instituto del Asfalto, 2001).

### *b) Determinación del peso específico*

Luego del secado del agregado, se procede a calcular los pesos específicos (grueso y fino), estos datos son necesarios para el cálculo de las propiedades volumétricas de la mezcla; el peso específico se define como la proporción entre el peso de una muestra de agregado con un volumen determinado y el peso del agua que contiene el mismo volumen (Instituto del Asfalto, 2001).

### *2.1.3.6. Preparación de los especímenes de ensayo*

De acuerdo al Instituto del Asfalto (2001), para preparar los especímenes de mezcla asfáltica se sigue el siguiente procedimiento:

- Se calientan los agregados y el asfalto para proceder a su mezclado homogéneo, cubriendo todas las partículas con asfalto.
- Se vierte la mezcla con las proporciones de agregados y asfalto determinadas por el diseño, en moldes previamente calentados para que no se enfríe.
- Se compactan ambas caras del espécimen mediante 35, 50 o 75 golpes con el martillo Marshall, dependiendo del nivel de tráfico considerado para el diseño.

### *2.1.3.7. Procedimiento del ensayo Marshall*

Para realizar el ensayo de Marshall, se puede dividir en tres etapas: determinar la gravedad específica de la mezcla, determinar de la estabilidad y fluencia, y analizar de densidad y vacíos (Instituto del Asfalto, 2001).

### *a) Determinación de la gravedad específica de la mezcla*

Se procede a determinar la gravedad específica de la mezcla de la mezcla de cada espécimen luego de haber realizado la compactación y que se hayan enfriado a temperatura ambiente (Instituto del Asfalto, 2001)

Para el cálculo se puede tomar como referencia dos normas, la ASTM D 2726, para la determinación de la gravedad específica y densidad de mezclas asfálticas no absorbentes sin parafina, cuando el porcentaje de absorción de la mezcla compactada es menor a 2% o la norma ASTM D 1118, para la determinación de la gravedad específica y densidad de mezclas bituminosas compactadas usando

especímenes revestidos con parafina, cuando el porcentaje de absorción de la mezcla compactada supera el 2% (Garnica et al., 2004).

#### *b) Ensayo de estabilidad y fluencia*

Garnica et al. (2004) mencionan que luego de determinar la gravedad específica de la mezcla, se procede a realizar el ensayo de estabilidad y fluencia, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Sumergir de 30 a 40 minutos los especímenes de prueba en un baño de agua a 60 °C (temperatura más desfavorable que se encontrará el pavimento en servicio).
- Pasado el tiempo establecido el espécimen de prueba es retirado del baño de agua, secado, y colocado en el aparato Marshall. El ensayo consiste en aplicar una carga sobre el espécimen a una deformación constante de 2" /minuto hasta lograr la falla, mientras unos diales miden la carga y la deformación (fluencia).
- En el momento de la falla, se anota las lecturas del dial de carga y de deformación, lo que finalmente se conoce como estabilidad y fluencia.

#### *c) Análisis de densidad y vacíos*

El objetivo del análisis de densidad y vacíos a las muestras compactadas es el de determinar sus propiedades volumétricas (densidad, contenido de vacíos, vacíos en el agregado mineral y vacíos llenos de asfalto), siendo necesario el cálculo de la gravedad específica máxima según la norma ASTM D 2041 sobre la muestra asfáltica sin compactar (Instituto del Asfalto, 2001).

### *2.1.3.8. Resultados del ensayo Marshall*

#### *a) Gráfica de resultados*

Los resultados obtenidos del ensayo se expresan en gráficas, a fin de estudiar cuál proporción de agregados y asfalto, es la que cumple con las especificaciones. Se consideran seis gráficas en la que se analizan los valores de los vacíos ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VAM), vacíos llenos de asfalto (VFA), peso

específico, estabilidad y fluencia para cada contenido de asfalto considerado en la prueba (Instituto del Asfalto, 2001).

En la Figura N° 5: Ejemplo de gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall, se muestran las tendencias que se espera típicamente en el análisis de cada propiedad en función al contenido de asfalto de los especímenes de prueba.

#### *b) Contenido Óptimo de asfalto*

La finalidad del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla, siendo aquel porcentaje de asfalto que hace que la mezcla cumpla con los criterios establecidos por las normativas que adopta cada país. De acuerdo con el Instituto del Asfalto (2001), lo primero es determinar en la gráfica porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos, el porcentaje de asfalto que hace que el porcentaje de vacíos sea 4%, y luego se evalúa en las otras gráficas las demás propiedades relacionadas a este contenido de asfalto.

El óptimo contenido de asfalto de la mezcla está en función de la granulometría y el porcentaje de absorción del material (Minaya y Ordoñez, 2006).

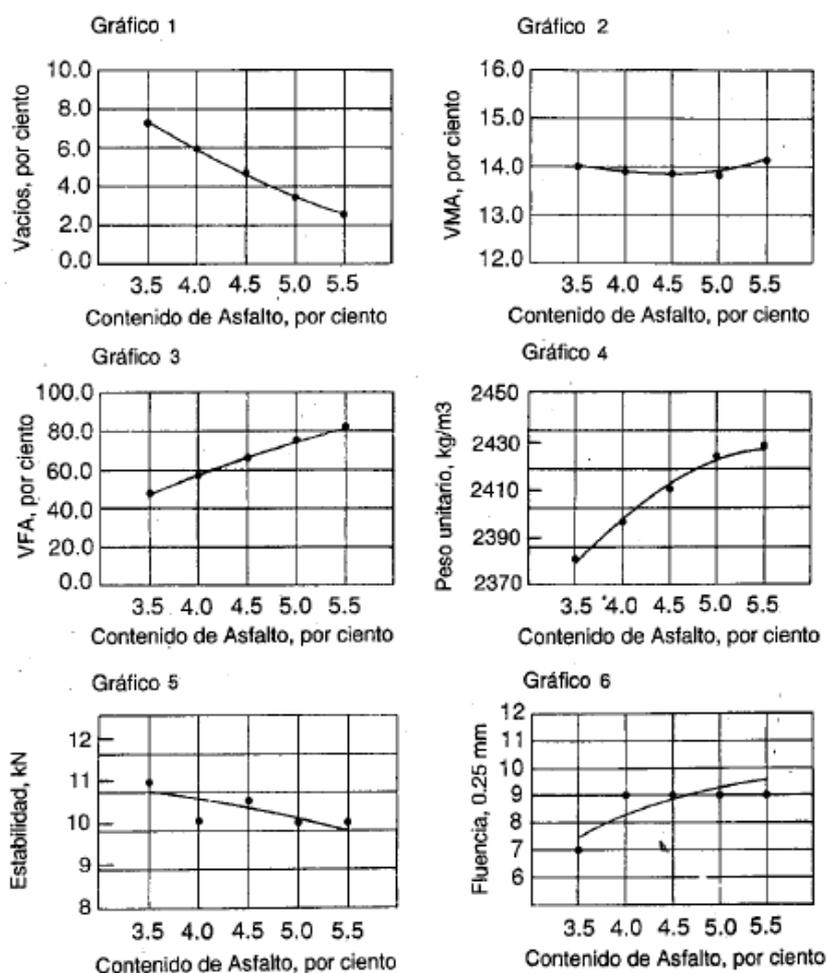


Figura N° 5: Ejemplo de gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall

FUENTE: Instituto del Asfalto (2001)

## 2.1.4. Agregado pétreo

### 2.1.4.1. Definición general

Es un material de origen mineral, que se encuentra en forma natural o que puede tratado, se obtiene mediante un proceso de voladura o dragado, y finalmente pasan por una fase de trituración a fin de tener el tamaño requerido (Ayala, Delgado, Cuellar, y Salazar, 2019). Los agregados pétreos se emplean para la conformación de rellenos, afirmados, materiales de base, subbase, además para producir concreto hidráulico y mezcla asfáltica, ocupando en esta última en masa entre el 88% y 96% y en volumen más del 75% (Rondón y Reyes, 2015).

“Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que, al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 469)

#### 2.1.4.2. Clasificación de agregados pétreos

Según Papagiannakis & Masad (2008), los agregados pétreos pueden clasificarse de acuerdo a su origen y de acuerdo al tamaño de sus partículas, como sigue:

##### a) Clasificación por su origen

Por un lado están los agregados provenientes de depósitos naturales como la arena y grava, y por otro, aquellos que han sufrido un proceso de trituración luego de explotarlos mediante voladura, como las piedras trituradas.

De acuerdo al origen geológico de la roca madre se clasifican también en: ígneos, sedimentarios y metamórficos.

- **Ígneas:** Se forman producto del enfriamiento del magma, si el enfriamiento se da en la superficie, se denominan extrusivas, y tienden a formar estructuras de granos finos; sin embargo, si el enfriamiento se da debajo de la corteza terrestre, es mucho más lento formando cristales más grandes, llamadas intrusivas.
- **Sedimentarias:** Se originan en la superficie o bajo el agua, producto de la consolidación de materiales que se han desintegrado por la acción del viento, agua, hielo y gravedad.
- **Metamórficas:** formadas por la recristalización de sedimentarias e ígneas a ciertas condiciones de presión y temperatura.

##### b) Clasificación por su tamaño

Basado en el tamaño de sus partículas, los agregados se clasifican en finos y gruesos. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), se denomina agregado grueso al material retenido en el tamiz N°4, y al material

pasante como agregado fino, ambos provenientes de fuentes naturales, procesadas o por la combinación de ambas.

### 2.1.4.3. Propiedades de agregados pétreos

#### a) Propiedades Físicas

##### i. Gradación y distribución de tamaños

El rendimiento de las capas del pavimento, guarda relación directa con la distribución del tamaño de partículas de los agregados; esta distribución puede ser discontinua, uniforme, bien gradada o abierta, y se representa gráficamente colocando en el eje de abscisas el tamaño de los tamices a una escala semilogarítmica y en el eje de las ordenadas a una escala aritmética el porcentaje de material total que pasa por cada tamiz (Papagiannakis & Masad, 2008).

En la Figura N° 6: Tipos de gradaciones del agregado, se muestra una clasificación de los agregados en base a la distribución de sus tamaños.

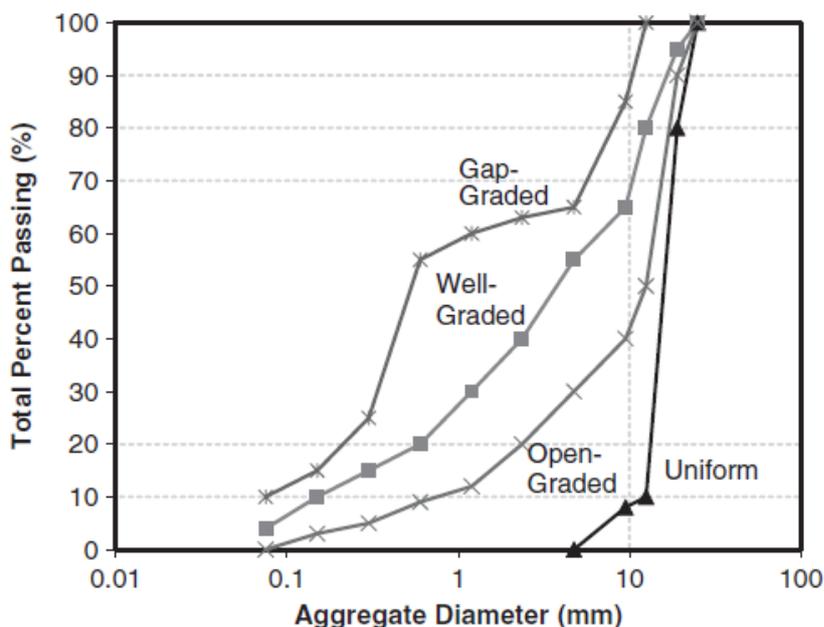


Figura N° 6: Tipos de gradaciones del agregado

FUENTE: Papagiannakis & Masad (2008).

### ii. Gravedad específica

La relación entre la masa de agregado y el volumen que ocupa en el agua, se designa como densidad siendo sus unidades  $\text{g/cm}^3$ , la relación de la masa de volumen de agregados y la masa de un volumen igual de agua a temperatura de  $25^\circ\text{C}$  se designa como gravedad específica, y es un valor adimensional. (Nikolaides, 2014).

En una situación ideal en la que los agregados no tienen micro o macroporos internos o en la superficie, el volumen medido coincide con el volumen absoluto del agregado, y se determina la densidad absoluta o gravedad específica absoluta de los agregados. Sin embargo, los agregados tienen en su estructura microporos impermeables encerrados en su masa, por lo que el volumen medido es aparente, y se determina la densidad aparente o gravedad específica aparente. Por otro lado el agregado también tiene poros superficiales, entonces el volumen determinado es relativo, y se determina la gravedad específica bulk. (Nikolaides, 2014).

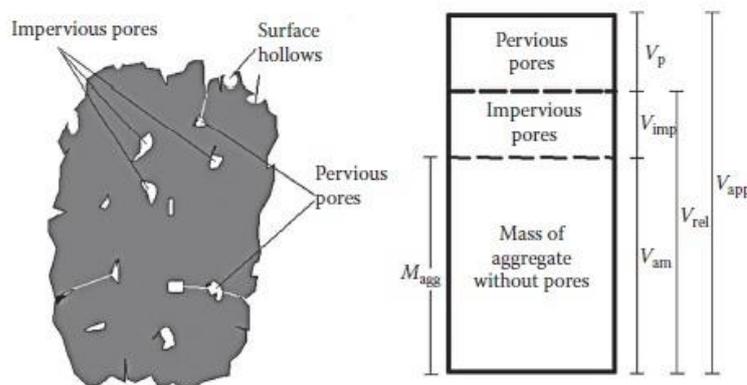


Figura N° 7 Poros y volúmenes en la masa del agregado.

FUENTE: Nikolaides, 2014.

### iii. Estructura de Poros

Es la forma, tamaño y volumen de los espacios vacíos en el agregado. No es recomendable un alto contenido de estos espacios, ya que acelera su degradación; y en una mezcla asfáltica en caliente los espacios vacíos permeables producen un aumento de la absorción de los componentes aceitosos del asfalto, dejando en la superficie el residuo más duro, a este fenómeno se le que se conoce como absorción selectiva (Papagiannakis & Masad, 2008).

#### iv. Geometría

La geometría de los agregados se basa en tres propiedades: la forma, asociada a la relación de sus dimensiones, la angularidad, asociada a la variación de sus esquinas y la textura de la superficie, relacionada con la irregularidad en la superficie del agregado; en la figura N° 7 se ilustran estas propiedades (Papagiannakis & Masad, 2008).

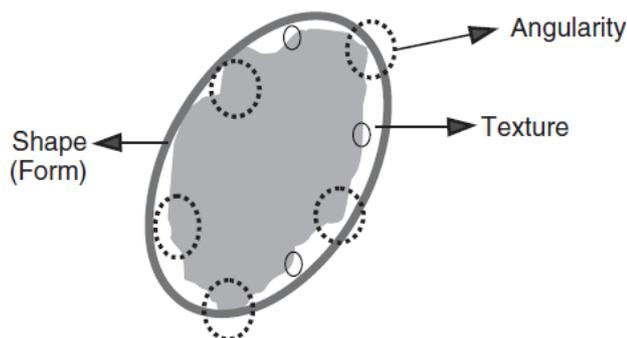


Figura N° 8 Forma, Angularidad y textura de la superficie del agregado.

FUENTE: Papagiannakis & Masad (2008).

#### v. Durabilidad y solidez

Estas propiedades se refieren a la resistencia a la temperatura y la humedad a la que los agregados están sometidos; así como también con la presencia de materiales nocivos como la materia orgánica y arcilla, que afectan en la unión del agregado con el asfalto (Papagiannakis & Masad, 2008).

##### b) Propiedades Químicas

Las propiedades químicas del agregado influyen en su afinidad con el asfalto, en la naturaleza existen dos tipos de agregados de acuerdo a su adherencia con el asfalto en presencia de agua, por un lado, están los hidrófilos o ácidos, que pierden adherencia ante la presencia de humedad, y por otro los hidrófobos o básicos, que presentan una buena adherencia con el asfalto en presencia de humedad (Papagiannakis & Masad, 2008).

##### c) Propiedades Mecánicas

De acuerdo a su naturaleza y mineralogía, los agregados presentan un comportamiento frente al desgaste, debido a la abrasión o impacto de cargas, que depende directamente de sus propiedades mecánicas (Papagiannakis & Masad, 2008).

Para medir el comportamiento que tienen los agregados frente a la degradación, se utilizan indicadores como la resistencia, que mide el esfuerzo de tensión o compresión que puede soportar el agregado antes de experimentar la falla y la rigidez, que está asociada a la capacidad de resistir las deformaciones en función a su módulo de elasticidad (Papagiannakis & Masad, 2008).

### 2.1.5. Asfalto

#### 2.1.5.1. Definición general

Según la Norma ASTM D 8, Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements, el asfalto es un material cementoso de color negro a marrón oscuro cuyos componentes principales se producen de manera natural o por el procesamiento del petróleo.

El asfalto de acuerdo con Shell (2015), es un producto de hidrocarburos al que se le ha extraído las fracciones más ligeras del petróleo crudo (como el gas de petróleo líquido, la gasolina y el diesel) durante el proceso de refinación, y que en el ámbito de la pavimentación comúnmente se conoce como cemento asfáltico. La consistencia del asfalto varía en función a la temperatura, siendo sólida o semisólida a temperaturas ambientales normales y de consistencia líquida a altas temperaturas, y que gracias a su poder cementante adhiere las partículas de los agregados en mezclas en caliente (Instituto del Asfalto, 2001).

#### 2.1.5.2. Tipos de Asfalto

Rondón y Reyes (2015) mencionan que para la fabricación de mezclas asfálticas se emplean los siguientes tipos de asfalto:

- Cemento asfáltico.
- Emulsiones asfálticas.

- Asfaltos rebajados.
- Asfaltos modificados.
- Asfaltos espumados.
- Crudos pesados.
- Asfaltitas o asfaltos naturales.
- Asfalto emulsionado (emulsiones)

Para efectos del presente estudio, se hizo uso del *cemento asfáltico* que se denominará en algunos casos simplemente como asfalto.

### 2.1.5.3. Composición del cemento asfáltico convencional

El cemento asfáltico está compuesto principalmente por moléculas llamadas hidrocarburos, formado por átomos de hidrógeno y carbono, además de especies heterocíclicas y grupos funcionales en pequeños porcentajes que contienen átomos de azufre, nitrógeno y oxígeno (Hunter, Self, & Read, 2015). En la Tabla N° 5: Análisis elemental del asfalto, se muestra un análisis de la composición del asfalto realizado por Crump.

Tabla N° 5: Análisis elemental del asfalto

	Carbon: % w	Hydrogen: % w	Nitrogen: % w	Sulfur: % w	Oxygen: % w	Nickel: ppm	Vanadium: ppm
Range	80.2–84.3	9.8–10.8	0.2–1.2	0.9–6.6	0.4–1.0	10–139	7–1590
Average	82.8	10.2	0.7	3.8	0.7	83	254
	Iron: ppm	Manganese: ppm	Calcium: ppm	Magnesium: ppm	Sodium: ppm	Atomic ratio: H/C	
Range	5–147	0.1–3.7	1–335	1–134	6–159	1.42–1.50	
Average	67	1.1	118	26	63	1.47	

FUENTE: Crump (recuperado en Hunter, Self & Read, 2015)

Por otro lado, para poder establecer su reología, de acuerdo a su solubilidad en n-heptano se puede dividir al asfalto en dos grupos químicos, los asfaltenos y los maltenos, y mediante un proceso de cromatografía este último se subdivide en saturados, aromáticos y resinas (Hunter, Self, & Read, 2015). En la Figura N° 9:

Esquema del método cromatográfico (SARA), se esquematiza la división de acuerdo a la solubilidad del asfalto en n-heptano y el proceso de cromatografía de los maltenos.

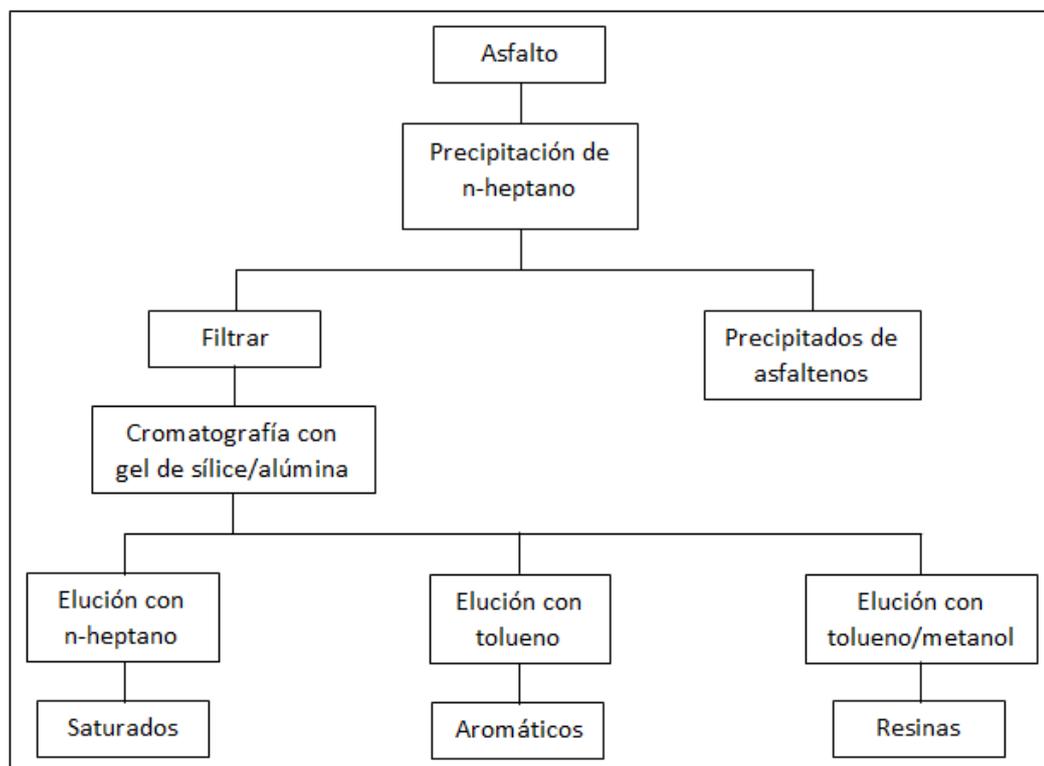


Figura N° 9: Esquema del método cromatográfico (SARA)

FUENTE: Hunter, Self & Read (2015).

*a) Asfaltenos*

Son sólidos amorfos negros o marrones insolubles en n-heptano, contienen carbono, hidrógeno, y en menor proporción átomos de nitrógeno, azufre y oxígeno; los asfaltenos son materiales aromáticos altamente polares, complejos y de alto de peso molecular (Hunter, Self, & Read, 2015).

Los asfaltenos representan del 5 al 25% del contenido total del asfalto, con altas proporciones de asfaltenos resulta un producto más duro y viscoso, por lo tanto, tiene una penetración más baja (Hunter, Self, & Read, 2015).

*b) Saturados*

Son aceites viscosos apolares de color amarillo pajizo a incoloro, que contienen una estructura alifática de cadenas lineales y ramificadas junto a compuestos cicloalifáticos, representa del 5 al 20% del contenido total del cemento asfáltico (Hunter, Self, & Read, 2015). En la Figura N° 10, se muestra un esquema de las estructuras de los saturados.

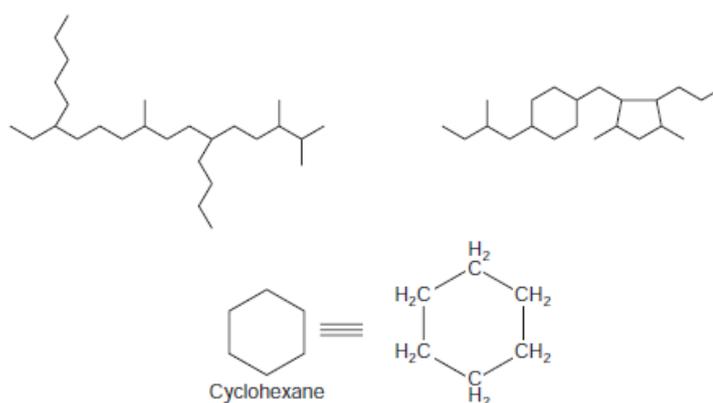


Figura N° 10: Representación de estructuras saturadas

FUENTE: Hunter, Self & Read (2015).

c) *Aromáticos*

Son líquidos viscosos de color marrón oscuro, compuesto por estructuras aromáticas nafténicas, representa el 40 a 60% del cemento asfáltico total y sirve como medio de dispersión para los asfaltenos peptizados. (Hunter, Self, & Read, 2015). En la Figura N° 11, se muestra un esquema de estructuras aromáticas.

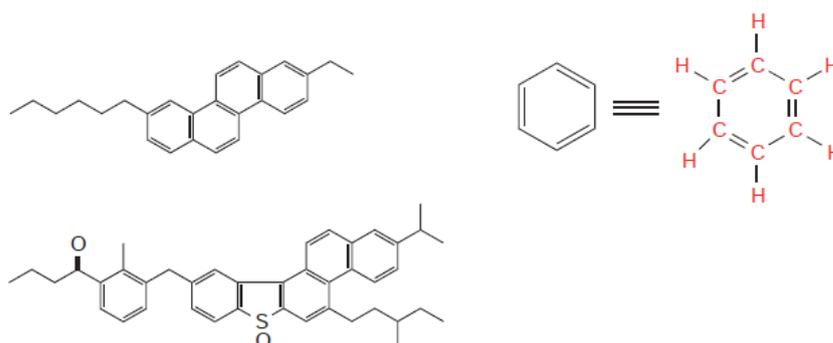


Figura N° 11: Representación de estructuras aromáticas.

FUENTE: Hunter, Self & Read (2015).

d) *Resinas*

Son sólidos o semisólidos solubles en n-heptano de color marrón oscuro, compuestos por hidrógeno y carbono principalmente, y de átomos de oxígeno, azufre y nitrógeno en menor proporción, tienen naturaleza polar y sirven de agente dispersante para los asfaltenos.

#### 2.1.5.4. Clasificación y grados de asfalto

Los asfaltos de pavimentación, según el Instituto del Asfalto (2001), pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico;
- Asfalto diluido (o cortado)
- Asfalto emulsificado.

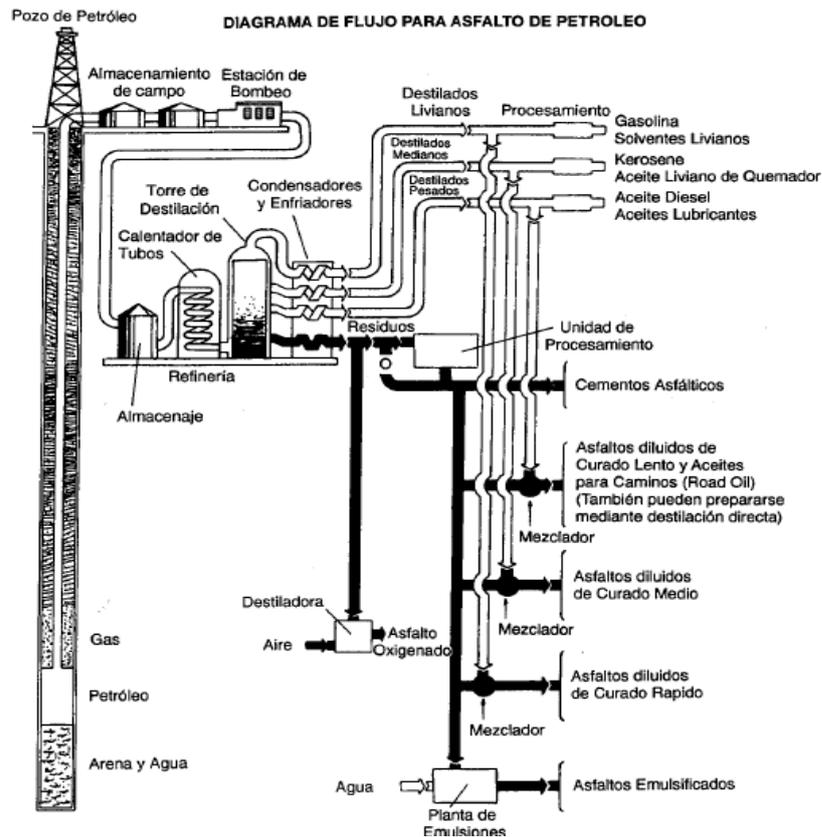


Figura N° 12: Diagrama de flujo para asfalto de petróleo

FUENTE: Instituto del Asfalto (2001)

Los cementos asfálticos se clasifican, según el Instituto del Asfalto (2001), bajo tres sistemas diferente, ellos son:

- Viscosidad
- Viscosidad después de envejecimiento, y
- Penetración

*a) Viscosidad*

En el sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta (Instituto del Asfalto, 2001). Cuando más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto (Instituto del Asfalto, 2001). El AC – 2.5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60° C o 140° F) es conocido como un asfalto “blando”. El AC – 40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60° C o 140° F) es conocido como un asfalto “duro” (Instituto del Asfalto, 2001).

*b) Viscosidad después del envejecimiento*

Otro sistema para clasificar el asfalto es por viscosidad después de envejecimiento; la idea es identificar cuáles serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento (Instituto del Asfalto, 2001). Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento (Instituto del Asfalto, 2001). El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más, la unidad normal de medida es el poise (Instituto del Asfalto, 2001).

La abreviación “AR” que corresponde a “Residuo Envejecido”, el AR – 10 (con una viscosidad de 1000 poises a 60°C) es conocido como un asfalto “blando”, mientras que el AR – 160 (con una viscosidad de 16000 poises a 60°C) es conocido como un asfalto “duro” (Instituto del Asfalto, 2001).

*c) Método de clasificación de asfalto por penetración*

El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. La Figura N° 13: Diagrama de la prueba de penetración, muestra cómo se ejecuta el ensayo de penetración (Instituto del Asfalto, 2001). Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada (100 gramos); la distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm) (Instituto del Asfalto, 2001). Un grado 200 – 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas, de 200 a 300 décimas de milímetro; esto es indicador de un asfalto “blando” (Instituto del Asfalto, 2001). Un grado 40 – 50, por otro lado, es indicación de un asfalto “duro” en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro (Instituto del Asfalto, 2001).

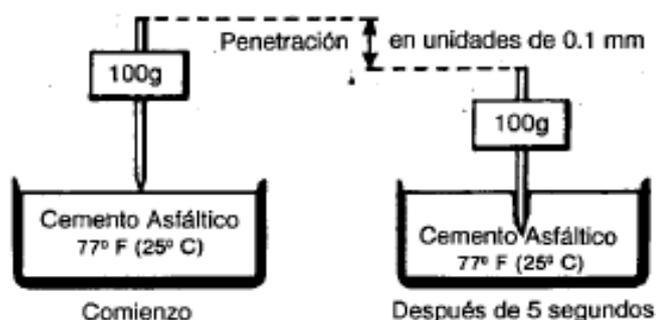


Figura N° 13: Diagrama de la prueba de penetración

FUENTE: Instituto del Asfalto (2001)

#### 2.1.5.5. Cemento asfáltico

##### a) Definición general

El asfalto, parte fundamental de la mezcla asfáltica, usado en pavimentación, es un buen cementante de agregados en mezclas en caliente, ya que a elevadas temperaturas tiene una consistencia blanda la cual facilita la adherencia de las partículas del agregado, generalmente llamado cemento asfáltico (Minaya & Ordoñez, 2006).

“El cemento asfáltico también es usado como impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los alcális o las sales; esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico” (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 43).

### b) Comportamiento mecánico del cemento asfáltico

La naturaleza del asfalto es viscoelástica, esto quiere decir que su comportamiento depende de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48). El asfalto a altas temperaturas tiene menor rigidez, típico durante la temperatura de mezcla (135°C). A medida que la temperatura desciende el asfalto se vuelve más rígido (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48). A temperaturas muy bajas el asfalto puede agrietarse porque se vuelve frágil y quebradizo (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48). En la Figura N° 14: Comportamiento real del cemento asfáltico, se observa un real comportamiento en función de la temperatura y el tiempo de carga.

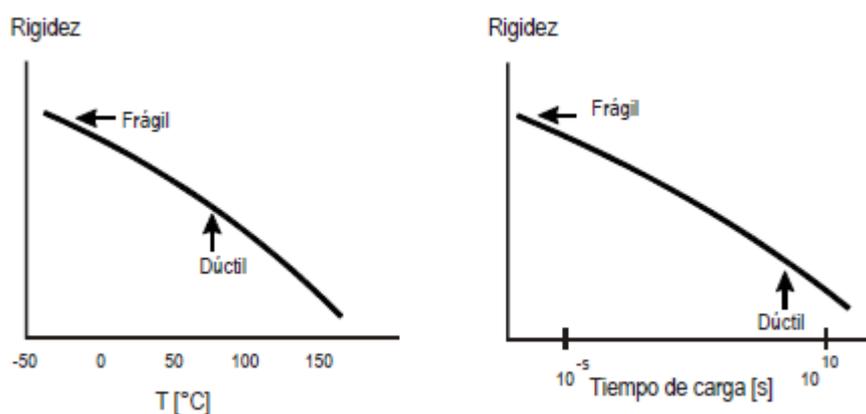


Figura N° 14: Comportamiento real del cemento asfáltico

FUENTE: Minaya González & Ordoñez Huamán (2006)

Un comportamiento análogo se observa cuando se grafica el tiempo de aplicación de la carga (velocidad) y la rigidez (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48). Cuando las cargas aplicadas son rápidas el asfalto tiene mayor rigidez y cuando las cargas son lentas hay menor rigidez y mayor deformación (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48).

### c) Comportamiento a altas temperaturas

En climas cálidos (el oriente del Perú, épocas de verano) o sometido a cargas de tráfico lentas (intersecciones, tramos en pendiente), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48). Con esta condición la estructura

granular de la mezcla asfáltica cumple un papel muy importante. El asfalto solo es el aglutinante (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48).

Por definición, la viscosidad es la característica física del material que describe la resistencia de los líquidos a fluir (Minaya & Ordoñez, 2006). Si el flujo del cemento asfáltico en caliente es lento puede ser observado microscópicamente como capas adyacentes de moléculas deslizándose unas sobre otras, la resistencia o fricción entre capas se relaciona a la velocidad relativa de deslizamiento (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48).

La viscosidad es una característica que ayuda a diferenciar a los líquidos y se define como el esfuerzo de corte entre la velocidad de deformación por corte. La Figura N° 15: Características del flujo de líquidos, muestra un juego de cartas que tienen una línea vertical marcada a un lado (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48). Cuando se aplica el corte en el punto superior, las cartas tratan de deslizarse una sobre la otra y los puntos marcados en las cartas empiezan a separarse. La velocidad al corte es la velocidad a la cual estos puntos se separan (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 48).

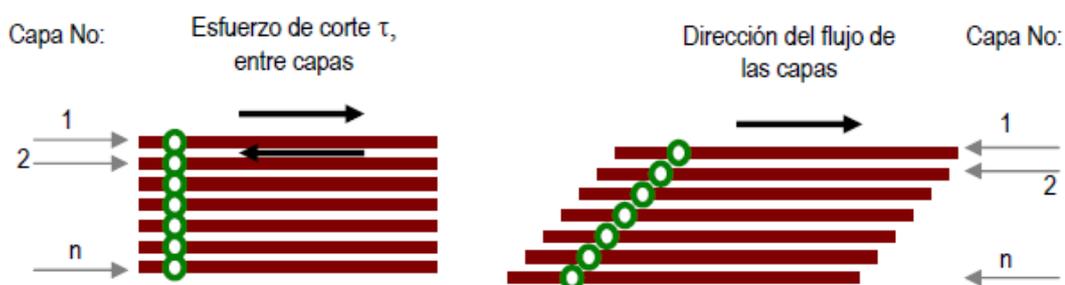


Figura N° 15: Características del flujo de líquidos

FUENTE: Minaya González & Ordoñez Huamán (2006)

Los fluidos Newtonianos tienen una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad relativa (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 49). El aire, agua y asfalto caliente (a temperaturas mayores que 60°C) son comúnmente fluidos Newtonianos; a temperaturas moderadas, la viscosidad del asfalto decrece cuando la velocidad relativa se incrementa (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 49). Los líquidos viscosos como el asfalto caliente algunas veces son llamados plásticos

porque una vez que empiezan a fluir no retornan a su posición original. El rutting o ahuellamiento es la acumulación de deformaciones plásticas no recuperables (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 49).

*d) Calidad del cemento asfáltico*

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 470). Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla N° 6: Selección del tipo de cemento asfáltico, según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 470).

Tabla N° 6: Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

FUENTE: Tabla 415-01, EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013)

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen en la Tabla N° 7: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado para penetración y la Tabla N° 8 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.

Tabla N° 7: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado para penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
<b>Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(2)</sup></b>											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h</b>											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

FUENTE: Tabla 415-02, EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013)

Tabla N° 8 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C 5t mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
<b>Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina</b>					
> Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
> Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
<b>Ensayo de la Mancha (Oliensies) <sup>(1)</sup></b>					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinará si el resultado del ensayo indica positivo.

FUENTE: Tabla 415-03, EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013)

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 471).

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro

producto garantizado, con los ensayos correspondientes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 471). En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de aditivo y las especificaciones que deberán cumplir tanto el cemento asfáltico modificado como las mezclas asfálticas resultantes, que serán aprobadas por el Supervisor, al igual que la dosificación y dispersión homogénea del aditivo incorporado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 471)

Una comparación de los métodos de clasificación por penetración y viscosidad del CA se presenta en la Figura N° 16: Comparación del C.A. clasificado por penetración y viscosidad.

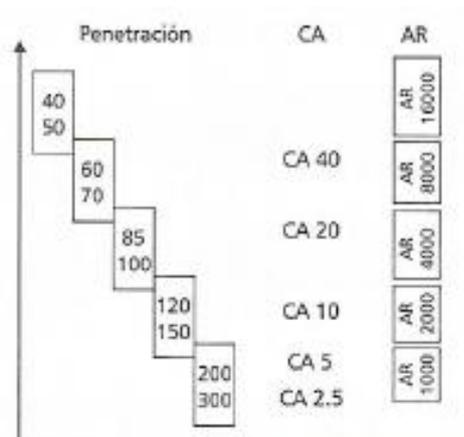


Figura N° 16: Comparación del C.A. clasificado por penetración y viscosidad

FUENTE: Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015)

#### e) Mezcla asfáltica modificada

Al añadir polímeros u otros productos al asfalto, se modifican las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas; cuando se utiliza esta tecnología, se busca mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente (Rondón & Reyes, 2015). Por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez y la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, a la fatiga y al envejecimiento, así como disminuir la susceptibilidad térmica y el daño por humedad (Rondón & Reyes, 2015).

Existen tipos de polímeros como los plastómeros (p.e., polietilenos de baja y alta densidad, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno) que al ser adicionados al CA rigidizan la mezcla asfáltica y por lo general aumentan el grado de funcionamiento de esta a altas temperaturas de servicio (Rondón & Reyes, 2015).

#### 2.1.6. Polímeros

##### 2.1.6.1. Definición general

Un polímero es una macromolécula de peso molecular elevado que está compuesta por unidades repetitivas llamadas monómeros, los mismos que se unen por enlace covalente, formando largas cadenas con estructura compleja (Ribes, Vilaplana, & Contat, 2008).

##### 2.1.6.2. Calificación de polímeros

Según Hermida (2011), se pueden clasificar de acuerdo a su origen, a la estructura de su cadena o a su respuesta termodinámica.

###### a) Según su origen

###### i. Naturales:

Son aquellos polímeros que se encuentran en la naturaleza, y que pueden tener una estructura simple como la celulosa o el caucho, o estructuras más complejas como las proteínas, ácidos nucleicos y las enzimas (Ribes, Vilaplana, & Contat, 2008).

###### ii. Sintéticos:

“Los polímeros sintéticos no se encuentran en la naturaleza, sino que son producto de reacciones químicas de polimerización, donde las unidades repetitivas forman enlaces covalentes haciendo crecer las cadenas poliméricas” (Ribes, Vilaplana, & Contat, 2008, pág. 25).

###### b) Según la estructura de la cadena

###### i. Lineal:

El enlace de las unidades de la cadena siempre es el mismo (Hermida, 2011). En la Figura N° 17: Polímero lineal, se muestra un ejemplo de esta clasificación

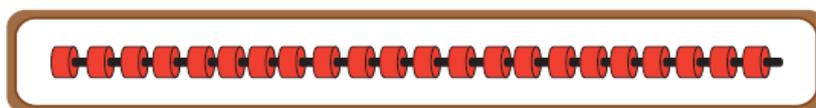


Figura N° 17: Polímero lineal

FUENTE: Hermida (2011)

*ii. Ramificado:*

Son aquellos polímeros que en determinados puntos de su cadena principal se forman cadenas laterales (Hermida, 2011). En la Figura N° 18: Polímero ramificado, se muestra un ejemplo de esta clasificación.



Figura N° 18: Polímero ramificado

FUENTE: Hermida (2011)

*iii. Entrecruzado:*

Son aquellos polímeros donde se construyen redes, debido a los enlaces que se forman entre cadenas vecinas (Hermida, 2011). En la Figura N° 19: Polímero entrecruzados, se muestra un ejemplo de esta clasificación.

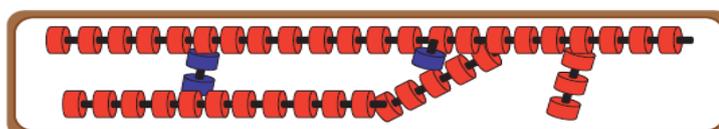


Figura N° 19: Polímero entrecruzados

FUENTE: Hermida (2011)

*iv. Homopolímero:*

Los homopolímeros son aquellos polímeros que solo poseen un tipo de monómeros en su cadena (Ribes, Vilaplana, & Contat, 2008).

En la Figura N° 20: Polímero homopolímero, se muestra un ejemplo de esta clasificación.

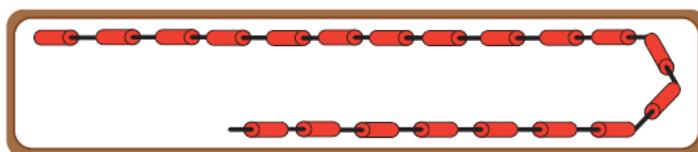


Figura N° 20: Polímero homopolímero

FUENTE: Hermida (2011)

v. *Homopolímero:*

Son aquellas donde la cadena polimérica está formada por dos o más tipos de monómeros. (Ribes, Vilaplana, & Contat, 2008). En la Figura N° 21: Polímero Copolímero, se muestra un ejemplo de esta clasificación.

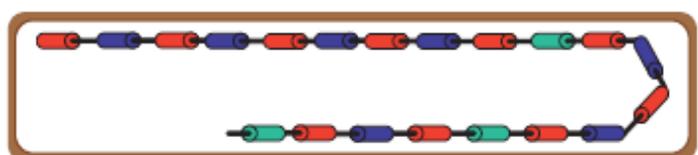


Figura N° 21: Polímero Copolímero

FUENTE: Hermida (2011)

c) *Según su respuesta termo-dinámica*

Según Rondón y Reyes (2015), los polímeros se pueden clasificar en dos grandes grupos: por un lado, los termo-endurecibles, llamados también termo-rígidos, son aquellos que, al estar expuestos a altas temperaturas, se descomponen y pierden sus propiedades; y por otro, los termoplásticos, pueden resistir altas temperaturas sin que se pierdan sus propiedades, por lo que es ideal para modificar asfaltos. (Rondón & Reyes, 2015).

De acuerdo con Rondón y Reyes (2015), los termoplásticos se pueden clasificar en:

- **Elastómeros**

Son aquellos materiales poliméricos en donde al aplicar una tensión, sus dimensiones se elongan enormemente, y que, al retirar dicha tensión, éste recupera sus dimensiones iniciales (Ribes, Vilaplana, & Contat, 2008).

“Los tipos de elastómeros más utilizados para modificar asfaltos son los cauchos naturales como el estireno-butadieno-estireno (SBS), cauchos sintéticos derivados del petróleo (estireno-butadieno-caucho, SBR) y el grano de llanta reciclado y triturado (GCR)” (Rondón & Reyes, 2015).

- **Plastómeros**

“Dentro de la gama de los plastómeros se encuentran, entre otros: el polietileno de alta y baja densidad (PEAD, PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y policloruro de vinilo (PVC)” (Rondón & Reyes, 2015, pág. 138).

#### 2.1.6.3. *Polietileno de Alta Densidad (PEAD)*

En el estudio se utilizó el polímero PEAD el mismo que fue obtenido de una planta recicladora que procesaba el material con otros fines (principalmente botellas con código de reciclaje 2), parte del desperdicio se tomó para realizar los ensayos. De acuerdo con Jerez (2011), químicamente el PEAD está compuesto por 85.7% de carbono y 14.3% de hidrógeno, correspondiente a la fórmula empírica  $(CH_2)_n$ , el cual se obtiene como resultado de la polimerización por adición del etileno.

Según Peacock (2000), el polietileno de alta densidad es estructuralmente más parecido al polietileno químicamente puro. Se compone principalmente de moléculas no ramificadas con pocos defectos que afectan negativamente a la linealidad, lo que da como resultado resinas con alta cristalinidad y alta densidad (en comparación con otros polietilenos), es así, que el polietileno de alta densidad tiene típicamente una densidad de aproximadamente 0,90 - 0,97 g/cm<sup>3</sup>.

#### 2.1.6.4. *Propiedades Térmicas del PEAD*

##### a) *Temperatura de degradación (Td)*

A la temperatura en que se manifiesta la destrucción de los enlaces covalentes entre átomos de la macromolécula y se carboniza el polímero, se le conoce como temperatura de degradación y representa la temperatura superior a la cual el polímero puede ser conformado en forma útil. (Hermida, 2011).

En ausencia total de oxígeno, el polietileno es estable hasta 290°C, se descompone entre 290 y 350°C para formar un polímero de bajo peso molecular,

a temperaturas superiores a 350°C se producen cada vez más productos gaseosos, siendo el principal producto el butileno. (Jerez, 2011).

*b) Temperatura de fusión (Tf)*

“Es la temperatura por debajo de la cual las cadenas se organizan para formar regiones cristalinas”. (Hermida, 2011, pág. 26).

Su temperatura de fusión es de 135 °C. (Jerez, 2011).

*c) Temperatura de transición vítrea (Tg)*

Se define como la temperatura a la que se produce la transición del estado elástico (o gomoso) al estado vítreo. (Hermida, 2011, pág. 27).

Tiene dos valores de temperatura de transición vítrea, a -30 °C y a -80°C. (Jerez, 2011).

#### *2.1.6.5. Mezclas con adiciones de polímeros*

Sánchez y Campagnoli (2016), señalan que los polímeros se pueden utilizar para mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas, ya se adicionado en el ligante o en la mezcla asfáltica (Berrio, 2017).

De acuerdo con Berrio (2017), los polímeros como modificadores de las mezclas asfálticas, permiten que disminuyan las deformaciones permanentes, fisuras por fatiga y gradiente térmico, así como mejorar la adherencia asfalto – agregado; sin embargo, la adición de estos polímeros, encarece la mezcla, por lo que se busca que su incorporación sea en pequeñas proporciones. Por otro lado, Sulyman et al. (2016), mencionan que “hay una tendencia creciente a nivel mundial que se enfoca en la sustitución de los polímeros comerciales por polímeros reciclados” (Berrio, 2017, pág. 21).

Según Abtahi et. Al (2010) citado en Berrio (2017), “la incorporación de polímeros triturados directamente sobre la mezcla o la sustitución parcial de los agregados por polímeros también ha mostrado buenos resultados en investigaciones recientes, desde el punto de vista ambiental debido a que utiliza mayores volúmenes de materiales reciclados” (pág. 21).

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. Cemento asfáltico

Es el residuo que se obtiene del proceso de destilación del petróleo, un sólido o líquido viscoso negro o marrón oscuro a temperatura ambiente, se utiliza principalmente como aglutinante en mezclas asfálticas, manteniendo unidos a los agregados. (Joann A. Wess, 2004).

### 2.2.2. Mezcla asfáltica en caliente

Es la combinación homogénea de cemento asfáltico, agregados incluyendo el polvo mineral, pudiendo o no contener aditivos, su fabricación requiere calentar los materiales, requiere una temperatura muy superior al ambiente para su transporte y puesta en obra. (Rodriguez, 2012)

### 2.2.3. Mezclas asfálticas modificadas

Son mezclas que resultan de un proceso de incorporación de polímeros o aditivos para modificar sus propiedades, a este proceso de modificación se les denomina vía húmeda y seca. (Rondón & Reyes, 2015).

### 2.2.4. Mezcla asfáltica modificada por vía seca

Se obtiene cuando el polímero o aditivo reemplaza parte del agregado pétreo y se adiciona a este el cemento asfáltico a determinada temperatura, resultando una nueva mezcla asfáltica. (Rondón & Reyes, 2015).

### 2.2.5. Polímeros

Son sustancias que resultan de la unión, de varias moléculas pequeñas, denominadas monómeros, desde el punto de vista de su estructura y sus propiedades, se pueden clasificar en termoendurecibles y termoplásticos, los termoplásticos a su vez se pueden clasificar en plastómeros y elastómeros. (Montejo, 2002).

### 2.2.6. Termoplásticos

Son polímeros solubles que se ablandan y funden bajo la influencia del calor, y por lo general tienen una estructura lineal o poco ramificadas. (Montejo, 2002).

### 2.2.7. Plastómeros

Son polímeros que exceden el límite elástico cuando se estiran y no vuelven a su longitud original cuando cesa la tensión, algunos de ellos son tales como polietileno, polipropileno, acetato de vinilo y cloruro de polivinilo. (Montejo, 2002).

#### 2.2.8. PEAD

El polietileno de alta densidad, o HDPE por sus siglas en inglés (High Density Polyethylene) es un polímero termoplástico que se obtiene por adición, suma de múltiples unidades de etileno con ligeras ramificaciones, por este motivo posee un peso molecular suficiente que le dota de gran resistencia, dureza, además de soportar altas temperaturas, por otro lado, es un material reciclable térmica y mecánicamente. (Envaselia, s.f.)

#### 2.2.9. Reciclado de plásticos

Proceso que consiste en transformar los residuos en recursos para nuevos productos, conservando el uso de su materia prima que es un derivado del petróleo y reduciendo los impactos que demanda su extracción y procesamiento. (Calkins, 2009).

#### 2.2.10. Diseño Marshall

Desarrollado por Bruce Marshall para el Departamento de Carreteras de Mississippi en 1930, luego adoptado y mejorado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, la finalidad consiste en determinar el contenido de cemento asfáltico óptimo para la mezcla, de manera que se logren obtener las propiedades de volumetría requeridas, porcentaje de vacíos de aire, vacíos en el agregado mineral, y que cumpla con los requerimientos mínimos de estabilidad y flujo. (Paulina Leiva Padilla, 2015)

#### 2.2.11. Estabilidad Marshall

Simula la resistencia al desplazamiento y deformación bajo la acción de cargas repetidas debido al tráfico; su valor depende de la fricción interna de los agregados gracias a su forma y textura, y de la cohesión que le proporciona el cemento asfáltico. (Instituto del Asfalto, 2001)

#### 2.2.12. Flujo Marshall

Corresponde a la deformación vertical total del espécimen bajo la acción de una carga máxima, punto en el cual la carga empieza a disminuir y se asocia al

potencial de deformación permanente en mezclas asfálticas en caliente. (Minaya y Ordoñez, 2006).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

Se desarrolló un estudio de tipo descriptivo (experimento puro) cuantitativo, de corte transversal de diseño experimental.

### 3.2. UNIDADES DE ANÁLISIS

Las unidades de análisis fueron: briquetas de 1200g. Aproximadamente de mezcla asfáltica en caliente con 0%, con 0.5%, con 1.0% y con 1.5% de Polietileno de Alta densidad reciclado.

### 3.3. ELEMENTOS DE ESTUDIO

El elemento de estudio fue la mezcla asfáltica en caliente.

### 3.4. TAMAÑO DE MUESTRAS DE ESTUDIO

El tamaño de las muestras, por unidad de análisis, fue:

- 20 muestras de mezcla asfáltica en caliente de 1200g aproximadamente con 0.0% de PEAD reciclado y 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% de cemento asfáltico, de las cuales cinco (05) muestras sueltas fueron para el ensayo RICE y quince (15) muestras compactadas fueron para el análisis de propiedades volumétricas, estabilidad y flujo de acuerdo a la metodología Marshall.
- 20 muestras de mezcla asfáltica en caliente de 1200g aproximadamente con 0.5% de PEAD reciclado y 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% de cemento asfáltico, de las cuales cinco (05) muestras sueltas fueron para el ensayo RICE y quince (15) muestras compactadas fueron para el análisis de propiedades volumétricas, estabilidad y flujo de acuerdo a la metodología Marshall.

- 20 muestras de mezcla asfáltica en caliente de 1200g aproximadamente con 1.0% de PEAD reciclado y 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5% de cemento asfáltico, de las cuales cinco (05) muestras sueltas fueron para el ensayo RICE y quince (15) muestras compactadas fueron para el análisis de propiedades volumétricas, estabilidad y flujo de acuerdo a la metodología Marshall.
- 20 muestras de mezcla asfáltica en caliente de 1200g aproximadamente con 1.5% de PEAD reciclado 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% de cemento asfáltico, de las cuales cinco (05) muestras sueltas fueron para el ensayo RICE y quince (15) muestras compactadas fueron para el análisis de propiedades volumétricas, estabilidad y flujo de acuerdo a la metodología Marshall.

### 3.5. SELECCIÓN DE MUESTRA

La selección de la muestra se realizó de acuerdo a la metodología Marshall.

### 3.6. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Las muestras que se incluyeron en el estudio fueron, solamente, aquellas que cumplieron con los ensayos de calidad.

### 3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos fue mediante un estudio de diseño de mezcla asfáltica en un laboratorio de ensayos especiales. La fuente principal de información son los reportes obtenidos del estudio realizado. Se siguieron los siguientes pasos:

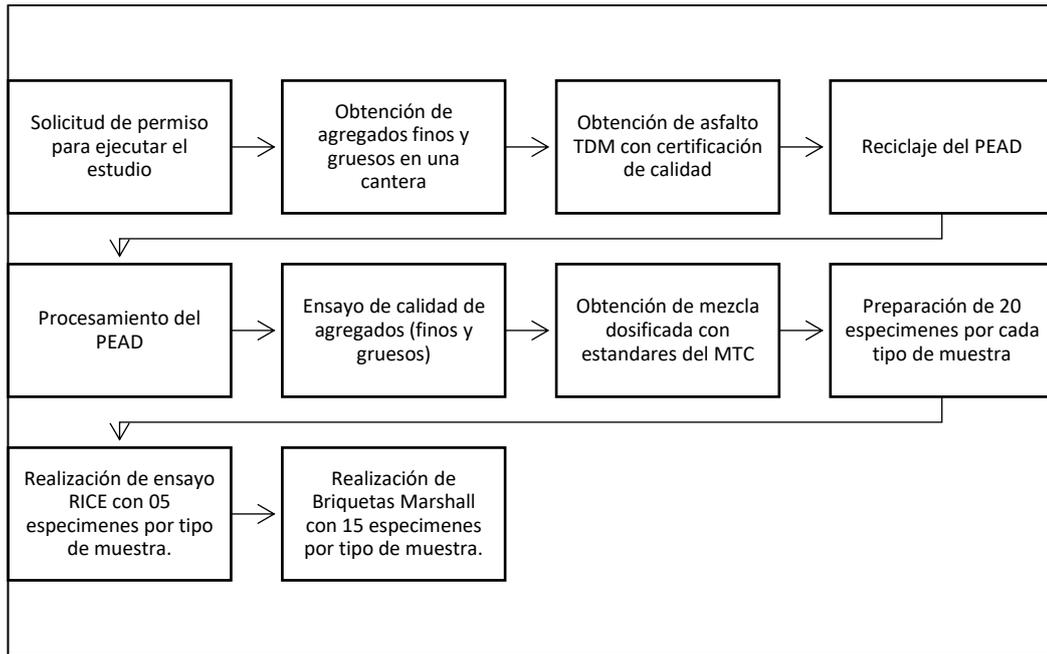


Figura N° 22: Proceso del proyecto

## CAPÍTULO IV: ENSAYOS DE MATERIALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Con la finalidad de conocer si los agregados y el asfalto que se van a emplear para realizar la mezcla asfáltica cumplen con las especificaciones de calidad que sugiere el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción – EG-2013 del MTC, se debe realizar ensayos de laboratorio al agregado grueso, agregado fino y al asfalto, siguiendo principalmente el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### 4.1. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado es proveniente de la cantera La Gloria, y los ensayos para determinar su calidad fueron: durabilidad (al sulfato de magnesio), abrasión Los Ángeles, partículas chatas y alargadas, caras fracturadas, sales solubles totales, Peso específico y Absorción.

#### 4.1.1. Durabilidad del agregado grueso por medio del sulfato de magnesio (MTC E 209)

Lo que se intenta representar con este ensayo es la resistencia al desgaste que tendrían los agregados por acción de la intemperie, utilizando una solución con sulfato de magnesio y un horno, emulando el frío y el calor respectivamente.

Para la preparación de la solución con sulfato de magnesio, el agua tiene que tener un rango de temperatura de 25°C a 30°C, además el peso específico de la solución saturada debe estar entre 1.295 y 1.308 g/cm<sup>3</sup>.

El material a utilizar será el retenido por la malla N°4 (4.75mm), Tabla N° 9: Pesos retenidos de material grueso para el ensayo de durabilidad, muestra las cantidades que se deben ensayar según el material retenido de agregado grueso en cada tamiz.

Se deben realizar 5 ciclos para el ensayo, cada ciclo consta de una fase de inmersión del agregado grueso en solución con sulfato de magnesio y otra fase en la que se seca el material al horno a 110°C previo escurrimiento de la solución.

Finalmente, para medir el desgaste de los agregados se tamiza cada muestra con cada malla que la retenía inicialmente y se lleva a la balanza obteniendo nuevos pesos retenidos.

Tabla N° 9: Pesos retenidos de material grueso para el ensayo de durabilidad

Tamaño de tamices		Peso (g)
Pasa	Retiene	
63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	3000 ± 300
50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	2000 ± 200
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1000 ± 50
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	500 ± 30
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	670 ± 10
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	300 ± 5
9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	300 ± 5

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

#### 4.1.2. Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaño menores de 37.5 mm (MTC E 207)

Debido a que los agregados están propensos al desgaste producto de la producción, colocación y compactación en la etapa de construcción del pavimento y con mayor razón por las cargas transmitidas durante su vida en servicio, es necesario realizar un ensayo que trate de representar este desgaste, siendo uno de ellos el de abrasión Los Ángeles. (MANUAL DE LABORATORIO, ENSAYOS PARA PAVIMENTOS, VOLUMEN I, Minaya y Ordoñez, 2001).

Para la ejecución de este ensayo se cuenta con 4 métodos, en el que varía la carga y la cantidad de material a utilizar, tal y como se muestra en la Tabla N° 10: Métodos del ensayo de abrasión Los Ángeles, la elección del método está en función de la gradación del agregado y los pesos retenidos son según la Tabla N° 11: Pesos de agregados gruesos hasta de 1 1/2".

Tabla N° 10: Métodos del ensayo de abrasión Los Ángeles

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

Tabla N° 11: Pesos de agregados gruesos hasta de 1 1/2"

Tamaño del tamiz		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1250±25			
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	1250±25			
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250±10	2500±10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250±10	2500±10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500±10	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N°4)			2500±10	
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016)..

La muestra de agregados se coloca en la máquina de Los Ángeles a una velocidad de 30rpm por 500 revoluciones y para el cálculo del desgaste por abrasión se tamiza toda la muestra por la malla 1.0mm (N°12) y se expresa en porcentaje como la relación de la diferencia entre el peso inicial y el peso retenido en el tamiz N°12 con el peso inicial.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso retenido (Malla N°12)}}{\text{Peso inicial}}$$

#### 4.1.3. Partículas chatas y alargadas (MTC E 223)

La colocación y compactación de los agregados puede verse afectado por la forma que tienen sus partículas ya que estas influyen en sus propiedades, por lo que es importante limitar el porcentaje de partículas chatas y alargadas que tiene el agregado grueso (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Para que una partícula sea denominada chata, la relación ancho – espesor tiene que ser mayor a un valor especificado.

Para que una partícula sea denominada alargada, la relación largo – ancho tiene que ser mayor a un valor especificado.

Para que una partícula sea denominada chata y alargada, la relación largo – espesor tiene que ser mayor a un valor especificado.

La cantidad de muestra necesaria para el ensayo está de acuerdo al tamaño máximo nominal según lo mostrado en la Tabla N° 12: Peso mínimo requerido para el ensayo de partículas chatas y alargadas.

Tabla N° 12: Peso mínimo requerido para el ensayo de partículas chatas y alargadas

Tamaño Nominal Máximo		Peso mínimo requerido	
mm	pulg.	kg	lb
9.5	3/8"	1	2
12.5	1/2"	2	4
19	3/4"	5	11
25	1"	10	22
37.5	1 1/2"	15	33
50	2"	20	44
63	2 1/2"	35	77
75	3"	60	130
90	3 1/2"	100	220
100	4"	150	330
112	4 1/2"	200	440
125	5"	300	660
150	6"	500	1100

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

La muestra escogida tiene que pasar y ser retenida respectivamente por los pares de tamices 2" y 1 1/2", 1 1/2" y 1", 1" y 3/4", 3/4" y 1/2", 1/2" y 3/8", todas las partículas de cada fracción pasarán por el calibrador proporcional ( ver la Figura N° 23 ), se tiene que igualar la abertura más grande con la longitud máxima de la partícula, al realizar ello se forma una abertura más pequeña en el otro extremo del calibrador proporcional, entonces se considera partícula chata y alargada si el espesor de la partícula pasa a través de esta abertura, esto se muestra en la Figura N° 24: Verificación de una partícula chata y alargada.

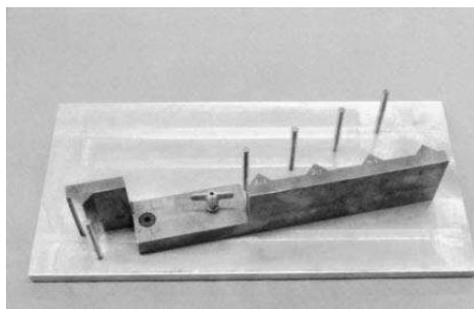


Figura N° 23: Calibrador proporcional

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

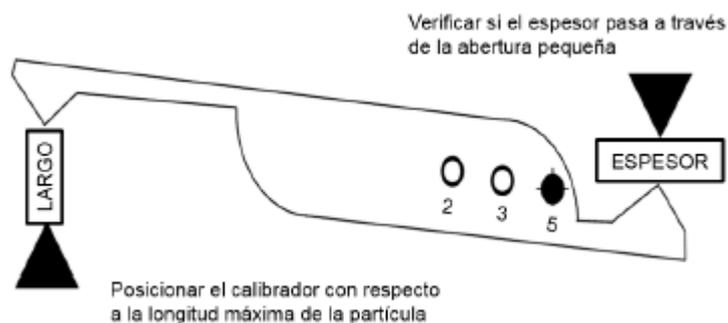


Figura N° 24: Verificación de una partícula chata y alargada

FUENTE: IMT, Manual de ensayo para laboratorio Agregados para mezcla asfáltica, 2019.

Finalmente se calcula el porcentaje de partículas chatas y alargadas por cada fracción de agregado.

#### 4.1.4. Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210)

Este método de ensayo determina el porcentaje de agregados gruesos con caras fracturadas lo cual es importante identificar ya que las partículas irregulares y angulares poseen mayor fricción entre ellas aumentando así la resistencia al esfuerzo cortante. (MANUAL DE LABORATORIO, ENSAYOS PARA PAVIMENTOS, VOLUMEN I, Minaya y Ordoñez, 2001).

Para que la cara de una partícula sea considerada como fracturada, su área proyectada debe ser al menos un cuarto del área máxima transversal proyectada de la partícula, el número de caras fracturadas usualmente es una a dos. (MTC Ensayo de materiales 2016).

La cantidad mínima de material para realizar este ensayo estará en función al tamaño máximo nominal como se observa en la Tabla N° 13.

Esta muestra tiene que pasar y ser retenida respectivamente por los pares de tamices 2" y 1 1/2", 1 1/2" y 1", 1" y 3/4", 3/4" y 1/2", 1/2" y 3/8", y se verificará en cada fracción y las partículas tienen 1 a más caras y 2 a más caras, finalmente se determinará una relación en porcentaje entre el peso de las partículas que poseen 1 a más caras y 2 a más caras, con el peso inicial de cada fracción.

Tabla N° 13: cantidades mínimas de muestra para el ensayo de partículas fracturadas

Tamaño Nominal Máximo		Peso mínimo requerido	
mm	pulg.	g	lb
9.5	3/8"	200	0.5
12.5	1/2"	500	1
19	3/4"	1500	3
25	1"	3000	6.5
37.5	1 1/2"	7500	16.5
50	2"	15000	33
63	2 1/2"	30000	66
75	3"	60000	132
90	3 1/2"	90000	198

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

#### 4.1.5. Sales solubles totales en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219)

Mediante este ensayo se determina el contenido de cloruros y sulfatos en los agregados para mezclas asfálticas, es un método muy utilizado en obra debido a su rapidez para cuantificar el contenido de sales.

La cantidad de muestra necesaria para realizar el ensayo está en función al tamaño de los agregados como se muestra en la Tabla N° 14.

Tabla N° 14: Cantidad y aforo mínimo de muestra para realizar la determinación de sales solubles

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (ml)
Grava 50 - 20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

#### 4.1.6. Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206)

Con este ensayo se puede determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción.

La muestra a utilizar será la que es retenida por la malla N°4, la cantidad dependerá del tamaño máximo nominal como se muestra en la Tabla N° 15, esta se sumergirá en agua durante 24 horas, luego se escurre el agua y se seca al agregado superficialmente, obteniendo el peso de la muestra en su condición saturada con superficie seca, seguidamente se determina el peso aparente en agua, para esto se coloca en la cesta de alambre como se ilustra en la Figura N° 25: Equipo para determinar el peso aparente en agua. Finalmente se lleva al horno a 100°C para después hallar su peso seco en el aire.

Tabla N° 15: Cantidades mínimas de muestra para el ensayo de peso específico y absorción

Tamaño Nominal Máximo		Peso mínimo requerido	
mm	pulg.	g	lb
12.5	1/2"	2	4.4
19	3/4"	3	6.6
25	1"	4	8.8
37.5	1 1/2"	5	11
50	2"	8	18
63	2 1/2"	12	26
75	3"	18	40
90	3 1/2"	25	55
100	4"	40	88
112	4 1/2"	50	110
125	5"	75	165
150	6"	125	276

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

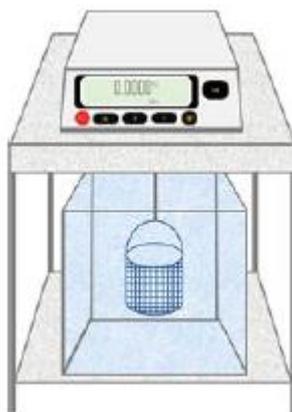


Figura N° 25: Equipo para determinar el peso aparente en agua

Fuente: IMT, Manual de ensayo para laboratorio Agregados para mezcla asfáltica, 2019.

Para el cálculo del peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción en el agregado grueso, se tiene que usar las siguientes ecuaciones:

$$G_{sa} = \frac{A}{A-C}; \text{ Peso específico aparente.}$$

$$G_{sb} = \frac{A}{B-C}; \text{ Peso específico seco.}$$

$G_{sssb} = \frac{B}{B-C}$  ; Peso específico saturado superficialmente seco.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(B - A) \times 100}{A}$$

Dónde:

A: Peso en el aire del agregado secado al horno, en gramos.

B: Peso en el aire del agregado saturado con superficie seca, en gramos.

C: Peso en el agua del agregado saturado con superficie seca.

## 4.2. AGREGADO FINO

El agregado fino utilizado fue proveniente de la cantera La Gloria, y los ensayo para determinar su calidad fueron: Equivalente de Arena, limite liquido de suelos (malla N° 40 y malla N° 200), límite plástico e índice de plasticidad (malla N° 40 y malla N° 200), sales solubles, Peso específico y absorción, Azul de Metileno.

### 4.2.1. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino (MTC E 114)

Este método de ensayo debido a su sencillez y rapidez, es ideal para determinar la calidad de los agregados que pasan el tamiz N°4 observando la cantidad de material fino, es precisamente el valor de equivalente de arena, una proporción de la lectura de arena y la lectura de arcilla, expresada en porcentaje.

El equipo principal para el desarrollo del ensayo de equivalente de arena se muestra en la Figura N° 26: Equipo para el ensayo de equivalente de arena.

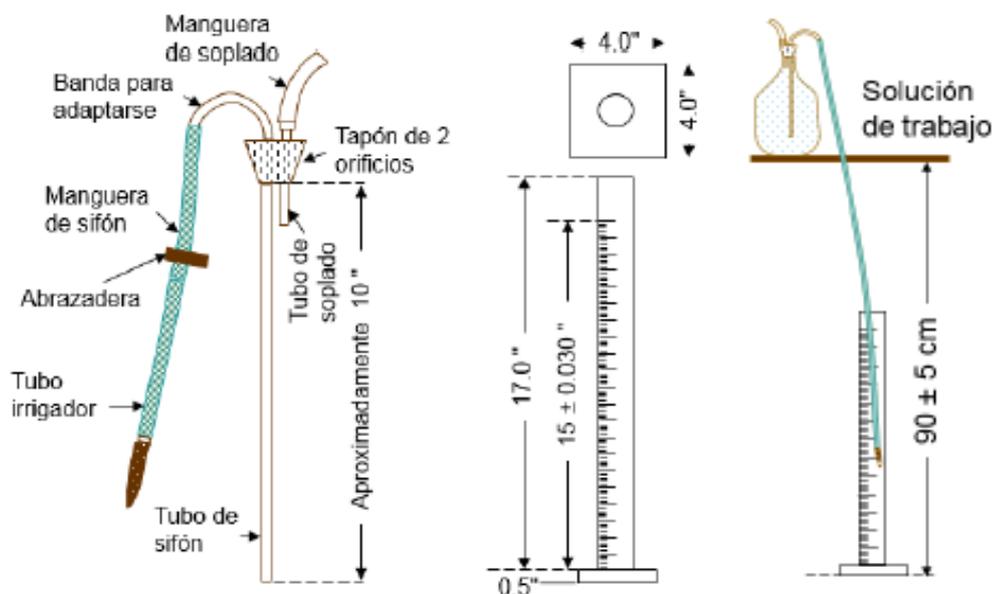


Figura N° 26: Equipo para el ensayo de equivalente de arena

FUENTE: IMT, Manual de ensayo para laboratorio Agregados para mezcla asfáltica, 2019.

La cantidad mínima para este ensayo es 1500 gramos de muestra pasante la malla N°4, luego de agregar solución stock a una muestra y agitarla ya sea manual, con 90 ciclos en 30 segundos en una distancia de  $23 \pm 3$  cm, o mecánicamente, 45 segundos en el agitador mecánico, se toman las lecturas en tres probetas, se anota la altura de arcilla luego de permanecer en reposo 20 minutos y la altura de arena con ayuda de un pisón que entra en la probeta hasta que descansa en la arena como se ilustra en la Figura N° 27: Lectura de altura de arena.

Se determina el equivalente de arena de cada probeta con la siguiente ecuación:

$$EA = \frac{\text{Lectura Arena}}{\text{Lectura Arcilla}} \times 100$$

Finalmente se reporta el promedio de las tres probetas.

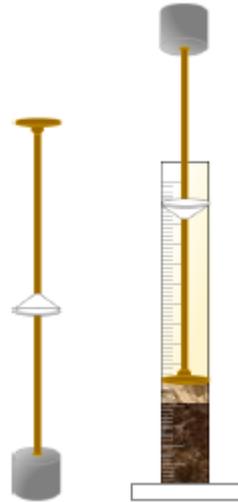


Figura N° 27: Lectura de altura de arena

FUENTE: IMT, Manual de ensayo para laboratorio Agregados para mezcla asfáltica, 2019.

#### 4.2.2. Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110)

Los límites de consistencia de Atterberg son utilizados para realizar una clasificación del suelo, ya sea SUCS O AASHTO. El límite líquido, no es más que un contenido de humedad que debería tener el suelo para cerrar una abertura en 13mm (1/2") a lo largo de su fondo, dejando caer de una altura de 1cm la copa de Casagrande 25 veces, con una frecuencia de dos caídas por segundo.

La cantidad de muestra para este ensayo es de 150g a 200g que pase el tamiz N°40. Para el cálculo se registra el número de golpes necesarios para cerrar la abertura realizada por el ranurador en la copa de Casagrande y el contenido de humedad de la muestra, el cual se determina pesando la muestra antes y después de llevarla al horno. Se plotean por lo menos tres pares de puntos, contenido de humedad y número de golpes, el límite líquido será el contenido de humedad a 25 golpes.

Por otro lado, se puede determinar el límite líquido con un solo punto, mediante la siguiente ecuación:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Dónde:

N: Número de golpes para cerrar la abertura para el contenido de humedad.

Wn: Contenido de humedad del suelo.

LL: Límite líquido.

#### 4.2.3. Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E 111)

Técnicamente el límite plástico se determina como el contenido de humedad que tiene la muestra de suelo cuando se forma un rollito de 1/8" diámetro sobre un vidrio esmerilado, sin que esta se quiebre.

Al igual que el límite líquido, el límite plástico es utilizado en los sistemas de clasificación de suelos SUCS y AASHTO, además se puede calcular el índice de plasticidad restando al límite líquido el valor del límite plástico.

La cantidad de muestra para este ensayo es aproximadamente 15 a 20g, el mismo que puede ser aprovechado de la muestra para la determinación del límite líquido.

Cuando el límite líquido y límite plástico no puedan determinarse o el valor del límite plástico resulte mayor al valor del límite líquido, el índice de plasticidad será no plástico.

#### 4.2.4. Sales solubles totales en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219)

También se determinó el contenido de sales solubles totales en el agregado fino, de manera análoga a los agregados gruesos.

#### 4.2.5. Gravedad específica y absorción de los agregados finos (MTC E 205)

Con este ensayo se puede determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción, los cuales se necesitan para el cálculo y corrección del diseño de mezclas asfálticas.

La cantidad que se requiere es aproximadamente 1000 gramos de agregado fino, la cual se sumerge durante 24 horas para saturar la muestra. Luego se decanta y se procede a conseguir su condición saturada con superficie seca, para esto es

necesario el uso de un molde cónico y un apisonador como se muestra en la Figura N° 28, luego de dar 25 golpes si el cono formado se desmorona entonces se alcanzó esta condición, caso contrario remover la muestra y repetir la prueba hasta obtener el resultado esperado.

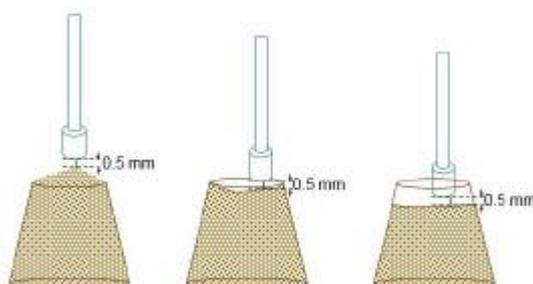


Figura N° 28: Molde cónico para la determinación de la condición saturada con superficie seca del material fino.

FUENTE: IMT, Manual de ensayo para laboratorio Agregados para mezcla asfáltica, 2019

Se separa una cantidad conocida de agregado fino saturado superficialmente seco y se vierte en una fiola calibrada de volumen conocido, se agrega agua hasta llenar su capacidad, se elimina las burbujas de aire contenidas, para luego registrar el peso de la fiola con el agua y la muestra de suelo.

Luego de registrar el peso, se separa la muestra de suelo contenida en la fiola para llevarla al horno y determinar el peso seco.

Para el cálculo del peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción en el agregado fino, se tiene que usar las siguientes ecuaciones:

$$Gsa = \frac{A}{B+A-C} ; \text{Peso específico aparente.}$$

$$Gsb = \frac{A}{B+D-C} ; \text{Peso específico seco.}$$

$$Gsss = \frac{D}{B+D-C} ; \text{Peso específico saturado superficialmente seco.}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{(D - A) \times 100}{A}$$

Dónde:

A: Peso en el aire del agregado secado al horno, en gramos.

B: Peso de la fiola con agua, en gramos.

C: Peso de la fiola con el agregado fino y el agua, en gramos.

D: Peso del agregado fino saturado con superficie seca.

#### 4.2.6. Azul de metileno (AASHTO T 330 07)

Este ensayo determina la cantidad de azul de metileno absorbida por la arcilla contenida en el agregado fino, pudiendo así conocer la reactividad del material que pasa la malla N°200 y su influencia en el desempeño de mezclas asfálticas. (IMT, 2019).

Para la ejecución del ensayo es necesario preparar una solución de 1g de azul de metileno y 1000ml de agua destilada. Se coloca en un vaso precipitado 1g de material pasante la malla N°200 con 30g de agua destilada y someterlo a agitación durante 5 minutos hasta que la arcilla se disperse uniformemente. Luego agregar 1ml de solución de azul de metileno y agitar por un minuto. Aún con la agitación en curso, colocar una gota de la suspensión en papel filtro y observar si alrededor de la gota se forma un halo más claro, como en la Figura N° 29, caso contrario añadir incrementos de 1.0 ml de solución de azul de metileno a la suspensión y agitar por un minuto, se debe repetir el proceso hasta que se evidencia el halo alrededor de la gota.

El valor de azul de metileno como resultado del ensayo será la cantidad de mililitros de solución de azul de metileno que se agregó a la suspensión para que aparezca el halo característico alrededor de la gota, las unidades serán en mg/g.



Figura N° 29: Halo color azul claro alrededor de la gota.

FUENTE: IMT, Manual de ensayo para laboratorio Agregados para mezcla asfáltica, 2019.

### 4.3. ASFALTO

El asfalto utilizado fue un PEN PLUS 60/70 proveniente de la planta TDM asfaltos, el mismo que venía con certificación avalando la realización de los siguientes ensayos: Penetración, punto de inflamación, ductilidad, solubilidad en tricloroetileno, efecto del calor y aire en materiales asfálticos (ensayo del horno de película delgada-TFOT), índice de penetración, viscosidad cinemática de asfaltos, revestimiento y desprendimiento.

#### 4.3.1. Penetración de los materiales bituminosos (MTC E 304)

Para medir la consistencia del asfalto se realiza el ensayo de penetración, altos valores de penetración indican una consistencia más suave.

Por lo general las condiciones de temperatura, carga y tiempo para el ensayo son 25°C, 100g y 5s respectivamente, pero también se puede realizar a otras condiciones como las mostradas en la Tabla N° 16.

Tabla N° 16: Otras condiciones de Temperatura, carga y tiempo para el ensayo de penetración del asfalto

Temperatura	Carga, g.	Tiempo, s.
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46.1	50	5

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

La cantidad de asfalto necesaria para la prueba es de 400 a 500 g, se realiza con un penetrómetro el cual tiene una aguja que se deja caer sobre la muestra a ensayar en las condiciones de prueba especificadas, se registra la lectura del dial del penetrómetro en décimas de milímetro. Se debe realizar por lo menos tres mediciones en puntos de la superficie de la muestra.

El valor de penetración será el promedio de las tres lecturas realizadas sobre la muestra, teniendo en cuenta que el valor más bajo y más alto difieran según la Tabla N° 17.

Tabla N° 17: Diferencia máxima entre el valor más alto y más bajo de penetración, según el valor del promedio

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la penetración más alta y más baja	2	4	12	20

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

#### 4.3.2. Puntos de inflamación mediante la copa abierta CLEVELAND (MTC E 303)

Mediante este ensayo se determina el punto de inflamación de los asfaltos que tengan un punto de inflamación por encima de 79.5°C, utilizando la copa abierta Cleveland, ver la Figura N° 30, y para el caso de asfalto con punto de inflamación menor a 93.3 ° C, se utilizará el ensayo con copa abierta TAG.

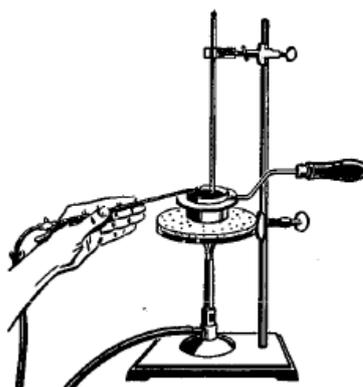


Figura N° 30: Equipo de Copa abierta de Cleveland.

FUENTE: Instituto del asfalto, 2001.

#### 4.3.3. Ductilidad de los materiales bituminosos (MTC E 306)

En esta prueba se somete una probeta de material asfáltico a un ensayo de tracción, por lo general a  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  de temperatura, a una velocidad de  $5\text{cm/min} \pm 5.0\%$ , en un baño de agua de igual densidad, la ductilidad será la máxima distancia en cm que alcanzará la probeta de material asfáltico antes de la rotura, esto se aprecia en la Figura N° 31: Ensayo de ductilidad en materiales bituminosos.

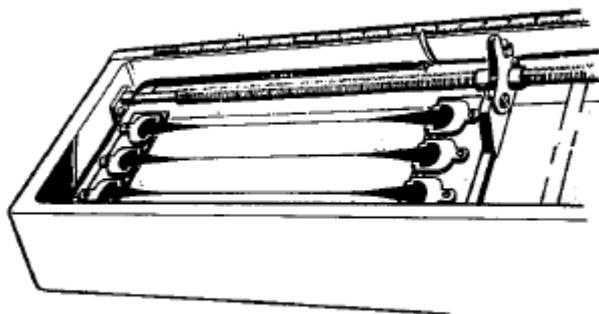


Figura N° 31: Ensayo de ductilidad en materiales bituminosos

FUENTE: Instituto del asfalto, 2001.

Durante el estiramiento de la probeta a las condiciones dadas, el material bituminoso no tiene que entrar en contacto con la superficie de del agua y el fondo del baño, y se debe realizar tres pruebas, se considera el valor de la ductilidad como el promedio de estos valores.

#### 4.3.4. Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno (MTC E 302)

Con este ensayo se puede determinar que porción del material asfáltico es soluble en tricloroetileno, la parte soluble representa los componentes activos cementantes.

La temperatura de la muestra asfáltica para esta prueba puede ser la temperatura ambiente pero nunca debe estar por encima de 111°C, la cantidad es de 2g aproximadamente.

Se vierte 100ml de tricloroetileno en 2g. de material asfáltico que es contenido por un frasco Erlenmeyer, y mediante la ayuda de un crisol Gooch y un filtro de vidrio, como se muestra en la Figura N° 32, que es llevado previamente al horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, se filtra el tricloroetileno y la parte soluble del material asfáltico, quedando solo el material insoluble.

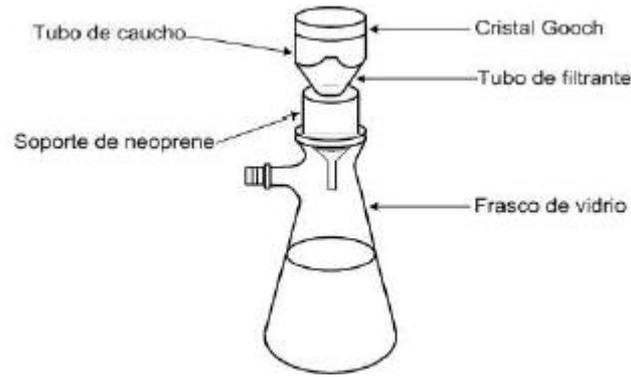


Figura N° 32: Frasco de Erlenmeyer, filtro de vidrio y crisol Gooch

FUENTE: Ensayo de Materiales, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2016).

El porcentaje de solubilidad se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\%Solubilidad = [B - (C - A)/B]x100$$

Dónde:

A: Peso de crisol y filtro.

B: Peso de la muestra.

C: Peso del crisol, filtro y material insoluble.

#### 4.3.5. Efecto del calor y aire en materiales asfálticos, ensayo del horno de película delgada-TFOT (MTC E 315)

De acuerdo al manual de ensayo de materiales, la prueba de TFOT, mide los efectos combinados del calor y el aire sobre una película de ligante asfáltico, simulando el endurecimiento que experimenta el material durante el mezclado en una planta mezcladora de asfalto. Además, se miden los valores de pérdida de peso, penetración, ductibilidad, punto de ablandamiento y viscosidad del material asfáltico endurecido. Los valores de penetración, punto de reblandecimiento y viscosidad después de la prueba TFOT se comparan con los valores iniciales.



Figura N° 33: Horno para la prueba TFOT

FUENTE: Nikolaides A., 2015.

#### 4.3.6. Índice de penetración

En 1954, Pfeiffer y Van Doormaal, desarrollaron la siguiente ecuación que describe la susceptibilidad a la temperatura de la penetración del asfalto:

$$IP = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A}$$

Donde A se expresa como:

$$A = \frac{\log(PEN \text{ a } T1) - \log(PEN \text{ a } T2)}{T1 - T2}$$

Luego en 1936, encontraron que la mayoría de los materiales asfálticos tenían una penetración de aproximadamente 800 dmm a la temperatura del punto de ablandamiento de ASTM. Reemplazando T2 en la ecuación anterior por la temperatura del punto de ablandamiento (SP) de ASTM y la penetración en T2 por 800, obtuvieron la ecuación:

$$IP = \frac{1952 - 500 \log(PEN) - 20SP}{50 \log(PEN) - SP - 120}$$

Otra manera de obtener el valor del índice de penetración es a través del siguiente monograma, en donde se debe identificar el valor de penetración a 25°C y el valor de punto de ablandamiento, luego se une ambos puntos con una línea recta, y la intersección con segmento inclinado nos da como resultado el índice de penetración.

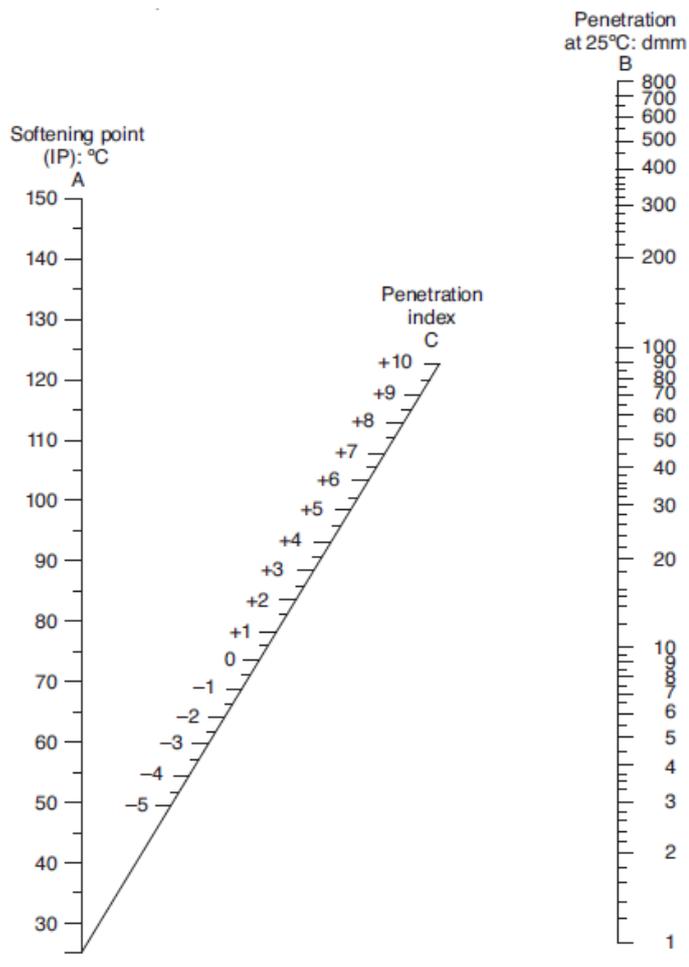


Figura N° 34: Nomograma para el cálculo del índice de penetración

FUENTE: Hunter, Self, & Read, 2015.

#### 4.3.7. Viscosidad cinemática de asfaltos (MTC E 310)

El valor de la viscosidad cinemática se mide cronometrando el flujo de betún a través de un viscosímetro capilar de vidrio a una temperatura determinada. Cada viscosímetro está calibrado y el producto del tiempo de flujo y el factor de calibración del viscosímetro da la viscosidad cinemática en mm<sup>2</sup>/s, la unidad que se acostumbra a utilizar es 1 centistoke (1 cSt= 10<sup>-2</sup> St) que equivale a 1 mm<sup>2</sup>/s. (Hunter, Self, & Read, 2015).

## CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Una vez obtenida la calidad de los materiales a utilizar en la mezcla asfáltica se desarrolla la parte experimental de la investigación, el cual consiste en diseñar 04 mezclas asfálticas según la metodología Marshall.

Para el primer diseño al cual denominaremos patrón se realizará con la mezcla de agregados y asfalto sin incorporación de PEAD reciclado, para el segundo, tercer y cuarto diseño antes de realizar la mezcla con el asfalto, se combinará PEAD reciclado con los agregados en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% en función al peso total de dicha combinación (1160g aproximadamente).

### 5.1. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN

#### 5.1.1. Granulometría de la combinación de agregados

Se realiza la combinación granulométrica de la piedra y de la arena de tal forma de ubicarlo en uno de los husos granulométricos según la Tabla N° 18: Gradaciones para mezcla asfáltica en caliente (MAC), alternativamente se puede usar lo recomendado por la ASTM D 3515 como se muestra en la Tabla N° 19: Gradaciones propuestas para mezclas densas.

Tabla N° 18: Gradaciones para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25 mm (1")	100		
19mm (3/4")	80-100	100	
12.5mm (1/2")	67-85	80-100	
9.5mm (3/8)	60-77	70-88	100
4.75mm (N°4)	43-54	51-68	65-87
2mm (N°10)	29-45	38-52	43-61
0.425mm (N°40)	14-25	17-28	16-29
0.18mm (N°80)	8-17	8-17	9-19
0.075mm (N°200)	4-8	4-8	5-10

FUENTE: EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013).

Tabla N° 19: Gradaciones propuestas para mezclas densas

Mezclas densas									
Tamaño del tamiz	Tamaño máximo nominal del agregado								
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9
	50mm (2")	37.5mm (1 1/2")	25 mm (1")	19mm (3/4")	12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)
Gradación del agregado total (grueso más fino, más filler si es necesario)									
63mm (2 1/2")	100	...	...	...	...	...	...	...	...
50mm (2")	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...	...
37.5mm (1 1/2")	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...
25 mm (1")	60 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...
19mm (3/4")	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...
12.5mm (1/2")	35 - 65	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...
9.5mm (3/8)	...	...	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...
4.75mm (N°4)	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	...	100
2.36mm (N°8)	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	...	95 - 100
1.18mm (N°16)	...	...	...	...	...	...	40 - 80	...	85 - 100
0.6mm (N°30)	...	...	...	...	...	...	25 - 65	...	70 - 95
0.3mm (N°50)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	...	45 - 75
0.15mm (N°100)	...	...	...	...	...	...	3 - 20	...	20 - 40
0.075mm (N°200)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	...	9 - 20
Asfalto, porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

FUENTE: ASTM D 3515

Obteniendo las granulometrías de la piedra y arena, se procede a encontrar las proporciones en peso para realizar la combinación y obtener la curva granulométrica de la combinación, la cual se muestra en la Tabla N° 20: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla patrón, siendo 35% de piedra y 65% de arena, las proporciones de los agregados.

En la Figura N° 35: Granulometría de la combinación, se señalan con líneas rojas los husos granulométricos de la MAC-2 de acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, con línea azul se señalan los husos correspondientes a la D-5 según la ASTM D 3515, la línea negra representa la granulometría de la combinación de agregados.

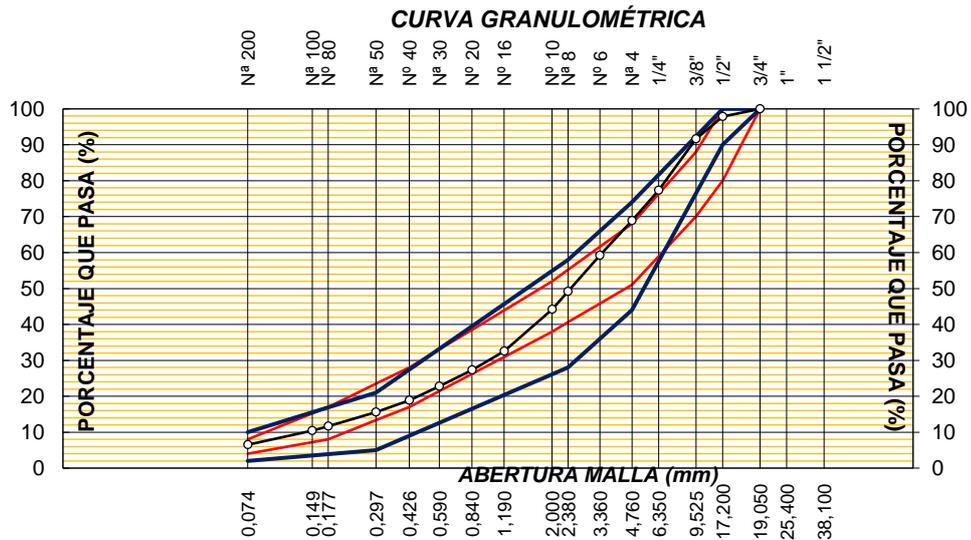


Figura N° 35: Granulometría de la combinación – Mezcla patrón.

Tabla N° 20: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla patrón

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	PIEDRA		ARENA		RESULTADO DE LA MEZCLA	
		RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050		100.0				100
1/2"	12.700	6.0	94.0			2.1	97.9
3/8"	9.525	18.0	76.0			6.3	91.6
1/4"	6.350	41.0	35.0			14.3	77.3
Nº 4	4.760	24.0	11.0		100.0	8.4	68.9
Nº 6	3.360	9.0	2.0	10.0	90.0	9.7	59.2
Nº 8	2.380	1.0	1.0	15.0	75.0	10	49.2
Nº 10	2.000	1.0	-	7.0	68.0	5	44.2
Nº16	1.190	-	-	18.0	50.0	11.7	32.5
Nº 20	0.840	-	-	8.0	42.0	5.2	27.3
Nº 30	0.590	-	-	7.0	35.0	4.5	22.8
Nº 40	0.426	-	-	6.0	29.0	3.9	18.9
Nº 50	0.297	-	-	5.0	24.0	3.3	15.6
Nº 80	0.177	-	-	6.0	18.0	3.9	11.7
Nº 100	0.149	-	-	2.0	16.0	1.3	10.4
Nº 200	0.074	-	-	6.0	10.0	3.9	6.5
-200	-	-	-	10.0	-	6.5	0

### 5.1.2. Dosificación de la mezcla

Luego de determinar la granulometría de la combinación, se realiza la dosificación de la mezcla con 65% de Arena, 35% de Piedra y diferentes porcentajes de asfalto (5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%) y, para cada porcentaje se realizan cuatro muestras, tres para compactación Marshall y uno para determinar la gravedad específica máxima de la mezcla. En la Tabla N° 21: Dosificación en peso de la mezcla patrón, se presentan los pesos en gramos de cada uno de los componentes de la mezcla.

Tabla N° 21: Dosificación en peso de la mezcla patrón

Contenido de asfalto	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
Peso agregados (g)	1160	1160	1160	1160	1160
Peso Piedra (g)	406.0	406.0	406.0	406.0	406.0
Peso Arena (g)	754	754	754	754	754
Peso asfalto (g)	61.1	67.5	74	80.6	87.3
Peso Mezcla (g)	1221.1	1227.5	1234	1240.6	1247.3

Para el mezclado de los materiales es muy importante el control de las temperaturas, de acuerdo con el gráfico de temperaturas de mezcla y compactación que se adjunta en el anexo 3, la temperatura de mezclado del asfalto debe estar entre un rango de 154°C – 158 °C y la temperatura de compactación en un rango de 144°C – 147°C.

De acuerdo a las proporciones en peso mostradas en la Tabla N° 21: Dosificación en peso de la mezcla patrón, se procede a realizar el mezclado de los agregados con el asfalto, por cada contenido de asfalto, se realiza cuatro muestras de mezclas, una para la determinación de la gravedad específica máxima teórica y las otras tres para la compactación, determinación de sus propiedades volumétricas y finalmente ser sometidas a la prensa Marshall para calcular el valor de estabilidad y flujo.

### 5.1.3. Compactación de la mezcla

Para la fabricación de las briquetas de mezcla asfáltica se realiza la compactación mediante 75 golpes por cara inmediatamente después del mezclado de los materiales, con la ayuda de un martillo de compactación operado a mano, el cual

cuenta con una masa deslizante de 4.54 kg que se deja caer a una altura de 457mm.

#### 5.1.4. Peso específico bulk de las briquetas

Se sigue el procedimiento de ensayo de acuerdo a la norma ASTM D 2726, standard test method for bulk specific gravity and density of non-absorptive compacted asphalt mixtures, la cual hace referencia a un método de prueba estándar para determinar el peso específico bulk de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes, este método se utiliza cuando las muestras contienen vacíos que absorban agua hasta un máximo de 2% en volumen.

La secuencia del ensayo es la que sigue:

- Determinar el peso en el aire de la briketa, luego de que haya permanecido por lo menos una hora a temperatura ambiente, se denomina a este peso como "A".
- Sumergir la briketa en agua a 25°C en un intervalo de tiempo de 3 a 5 min., luego pesarlo en agua para determinar su peso aparente, se denomina a este peso como "B".
- Se seca la briketa sumergida anteriormente con una toalla húmeda y se registra su peso en el aire, se denomina a este peso como "C".

Para determinar el valor de la gravedad específica bulk se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Peso específico Bulk} = \frac{A}{(B - C)}$$

Se muestra en la Tabla N° 22: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla patrón, el cálculo del peso específico bulk para cada briketa compactada y en función del porcentaje de cemento asfáltico, según la secuencia de ensayo líneas arriba, y en la Tabla N° 23: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica patrón, se muestra el peso específico bulk promedio de 3 briquetas compactadas por porcentaje de cementos asfáltico.

Tabla N° 22: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla patrón

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO BULK	Briquetas con 5.0% de C.A.			Briquetas con 5.5% de C.A.			Briquetas con 6.0% de C.A.			Briquetas con 6.5% de C.A.			Briquetas con 7.0% de C.A.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de la briketa al aire(g) (A)	1211	1208	1208	1215	1215	1205	1211	1208	1208	1223	1223	1224	1227	1229	1230
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en aire (g) (B)	1213	1210	1210	1216	1217	1207	1213	1210	1210	1223	1225	1225	1227	1230	1230
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en aire (g) (C)	679	677	678	697	686	668	679	677	678	696	698	702	702	704	703
Peso específico bulk de la briketa (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.270</b>	<b>2.268</b>	<b>2.271</b>	<b>2.343</b>	<b>2.288</b>	<b>2.239</b>	<b>2.385</b>	<b>2.297</b>	<b>2.244</b>	<b>2.317</b>	<b>2.322</b>	<b>2.340</b>	<b>2.334</b>	<b>2.336</b>	<b>2.332</b>

Tabla N° 23: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica patrón

PESO ESPECÍFICO BULK					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Gmb	2.270	2.290	2.309	2.326	2.334

#### 5.1.5. Peso específico teórico máximo (rice)

Se sigue el procedimiento de ensayo de acuerdo a la norma ASTM D 2726, standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of asphalt mixtures, la cual hace referencia a un método de prueba estándar para determinar el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas no compactadas. En este caso para su determinación se realizó pesada en el aire, siendo los resultados obtenidos, los mostrados en la Tabla N° 24: Peso específico teórico máximo de la mezcla patrón, la secuencia del ensayo es la que sigue:

- Se calibran los picnómetros determinando la masa del frasco cuando está lleno de agua, se denomina a este peso como “D”.
- Se tara el picnómetro calibrado y se vierte la muestra de mezcla asfáltica suelta, que previamente se ha enfriado a temperatura ambiente, se registra el peso neto de la muestra como “A”.
- Se añade agua a 25°C, lo suficiente como para cubrir la muestra, se elimina el aire atrapado aplicando un vacío parcial de 30mm de Hg durante 15 minutos, y se agita el recipiente de forma manual cada 2 minutos, finalmente se completa de agua hasta el nivel calibrado inicialmente, pasado 10 minutos se determina la masa del recipiente y su contenido, se denomina a este peso como “E”.

El valor de la gravedad específica teórica máxima se determina con:

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

Tabla N° 24: Peso específico teórico máximo de la mezcla patrón

%PEAD	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	Peso Específico Teórico Máximo - RICE (g/cm <sup>3</sup> )
0.0	5.0	2.549
	5.5	2.522
	6.0	2.479
	6.5	2.460
	7.0	2.445

### 5.1.6. Propiedades volumétricas

#### 5.1.6.1. Porcentaje de vacíos (%Va)

Determinado el valor del peso específico bulk de la briqueta y el peso específico teórico máximo, se calcula el porcentaje de vacíos para cada briqueta con la siguiente ecuación:

$$\%Va = \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} * 100$$

Dónde:

Gmm = Peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica

Gmb = Peso específico bulk de la mezcla asfáltica compactada.

En la Tabla N° 25: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla patrón, se muestran los valores promedios por cada tres briquetas de porcentaje de vacíos de acuerdo al contenido de cemento asfáltico.

Tabla N° 25: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla patrón

PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE (%Va)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%Va	11.0	9.2	6.9	5.4	4.5

#### 5.1.6.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA)

Para el cálculo del porcentaje de vacíos en el agregado mineral de cada briqueta, se determina el peso específico bulk de la briqueta, los porcentajes de los agregados en peso de la mezcla y el peso específico bulk del agregado total.

El peso específico bulk del agregado total se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Peso específico bulk del agregado total} = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}}$$

Dónde:

P1, P2, .. , Pn = porcentajes individuales de masa del agregado respecto a la masa total de la mezcla asfáltica.

G1, G2,... , Gn = peso específico bulk individual de cada agregado.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA), se calcula con la siguiente expresión:

$$\%VMA = 100 - \frac{Gmb - (P1 + P2 + \dots Pn)}{\text{Peso específico bulk del agregado total}}$$

En la Tabla N° 26: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla patrón, se muestran los promedios de los valores de porcentaje de vacíos en el agregado mineral por cada tres briquetas de acuerdo al contenido de cemento asfáltico.

Tabla N° 26: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla patrón

PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (%VMA)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%VMA	20.9	20.6	20.4	20.2	20.4

### 5.1.6.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico (%VFA)

Luego de calcular el porcentaje de vacíos y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla asfáltica compactada, para calcular los porcentajes de vacíos llenados con cemento asfáltico para cada porcentaje de cemento asfáltico que se muestran en la Tabla N° 27: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla patrón, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%VFA = 100 * \frac{VMA - Va}{VMA}$$

Tabla N° 27: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla patrón

PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%VMA)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%VFA	47.5	55.7	67.1	73.1	77.7

### 5.1.7. Prueba de estabilidad y flujo

Luego de determinar las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada, se procede a ensayar las briquetas en la prensa Marshall que previamente han sido sometidas a baño maría a 60°C durante 30 minutos, y así obtener los valores de estabilidad y fluencia para cada porcentaje de cemento asfáltico.

#### 5.1.7.1. Estabilidad

Para obtener el valor de la estabilidad en kg sin corregir, la lectura obtenida en el dial de carga, se reemplaza en una ecuación cuadrática, la misma que depende del anillo de carga empleada para el ensayo. *Estabilidad sin corregir (kg)* =  $6.71329 * 10^{-5}X^2 + 4.6719301X - 4.1993007$

Dónde: X= lectura del dial de carga.

Para obtener el valor de estabilidad corregida en kg, se multiplica la estabilidad sin corregir por un factor que depende del volumen de cada biqueta ensayada, como se muestra en la Tabla N° 28: Factor de corrección de estabilidad, seguidamente aplicando el factor de corrección, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla N° 29: Valores de estabilidad promedio de la mezcla patrón.

Tabla N° 28: Factor de corrección de estabilidad

Volumen de la biqueta		Factor
200.00	213.00	5.56
214.00	225.00	5.00
226.00	237.00	4.55
238.00	250.00	4.17
251.00	264.00	3.85
265.00	276.00	3.57
277.00	289.00	3.33
290.00	301.00	3.03
302.00	316.00	2.78

317.00	328.00	2.50
329.00	340.00	2.27
341.00	353.00	2.08
354.00	367.00	1.92
368.00	379.00	1.79
380.00	392.00	1.67
393.00	405.00	1.56
406.00	420.00	1.47
421.00	431.00	1.39
432.00	443.00	1.32
444.00	456.00	1.25
457.00	470.00	1.19
471.00	482.00	1.14
483.00	495.00	1.09
496.00	508.00	1.04
509.00	522.00	1.00
523.00	535.00	0.96
536.00	546.00	0.93
547.00	559.00	0.89
560.00	573.00	0.86
574.00	585.00	0.83
586.00	598.00	0.81
599.00	610.00	0.78
611.00	626.00	0.76

FUENTE: EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013).

Tabla N° 29: Valores de estabilidad promedio de la mezcla patrón

%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Estabilidad corregida (kg)	893.0	948.0	1043.0	1065.0	1044.0

### 5.1.7.2. Flujo

La lectura obtenida del dial de deformación nos da el valor del flujo Marshall en 0.01", la cual se registra inmediatamente después de que el dial de carga registre el máximo valor. En la Tabla N° 30: Valores de flujo promedio de la mezcla patrón, se muestran los resultados.

Tabla N° 30: Valores de flujo promedio de la mezcla patrón

%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Flujo (mm)	4.4	5.0	5.2	5.4	5.4

## 5.2. DISEÑO DE MEZCLA CON INCORPORACIÓN DE 0.5% DE PEAD RECICLADO

### 5.2.1. Granulometría de la combinación de agregados

Considerando al PEAD reciclado como parte de los agregados, se determina la granulometría de su combinación, el mismo que tiene que estar dentro de uno de los husos granulométricos de acuerdo a las Especificaciones Generales para la Construcción propuesta por el MTC, y que alternativamente se puede utilizar el de la norma ASTM D 3515.

En la Tabla N° 31, se muestra la granulometría de la piedra, arena, PEAD reciclado y de la combinación, con proporciones de 35% de Piedra, 64.5% de Arena y 0.5% de PEAD reciclado.

Así mismo en la Figura N° 36, se muestra la curva granulométrica de la combinación y los husos granulométricos MAC-2 y D5, correspondiente al propuesto por el MTC y la norma ASTM D 3515 respectivamente.

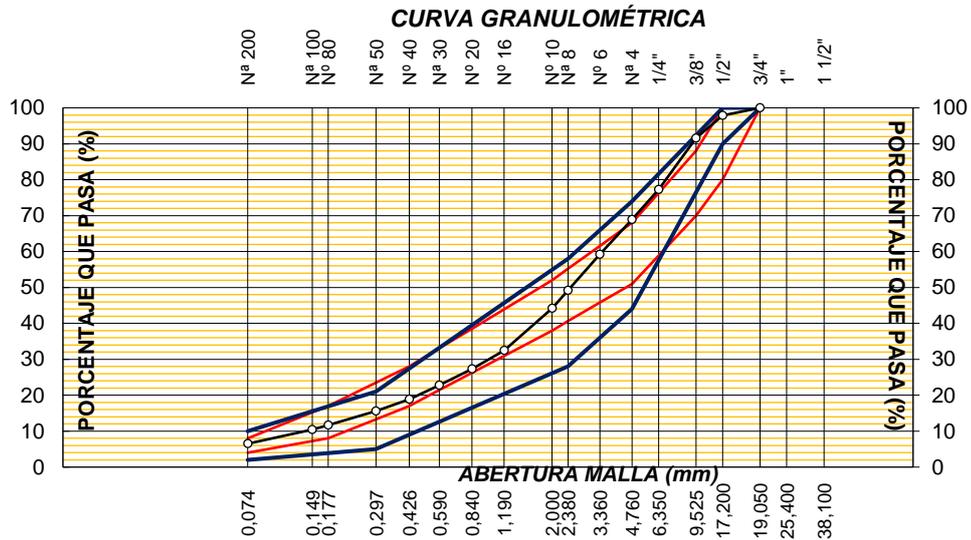


Figura N° 36: Granulometría de la combinación – Mezcla 0.5% PEAD reciclado

Tabla N° 31: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

MALLAS SERIE AMERICANA	Descripción	Piedra		Arena		PEAD		Resultado de la mezcla	
		Abertura (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)	RET (%)
3"	76.200								
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050		100.0						100
1/2"	12.700	6.0	94.0					2.1	97.9
3/8"	9.525	18.0	76.0					6.3	91.6
1/4"	6.350	41.0	35.0					14.3	77.3
N° 4	4.760	24.0	11.0		100.0			8.4	68.9
N° 6	3.360	9.0	2.0	10.0	90.0			9.6	59.3
N° 8	2.380	1.0	1.0	15.0	75.0			10	49.3
N° 10	2.000	1.0	-	7.0	68.0		100.0	4.9	44.4
N°16	1.190	-	-	18.0	50.0	68.0	32.0	11.9	32.5
N° 20	0.840	-	-	8.0	42.0	15.0	17.0	5.3	27.2
N° 30	0.590	-	-	7.0	35.0	11.0	6.0	4.6	22.6
N° 40	0.426	-	-	6.0	29.0	4.0	2.0	3.9	18.7
N° 50	0.297	-	-	5.0	24.0	1.0	1.0	3.2	15.5
N° 80	0.177	-	-	6.0	18.0	1.0	-	3.9	11.6
N° 100	0.149	-	-	2.0	16.0	-	-	1.3	10.3
N° 200	0.074	-	-	6.0	10.0	-	-	3.8	6.5
-200	-	-	-	10.0	-	-	-	6.5	-

### 5.2.2. Dosificación de la mezcla

Con la granulometría presentada de los agregados y en las proporciones de 35% de Piedra, 64.5% de Arena y 0.5% de PEAD reciclado, se realizaron tres mezclas asfálticas para compactación Marshall y uno para determinar la gravedad específica máxima de la mezcla en porcentajes de cemento asfáltico del 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% de contenido de cemento asfáltico. En la Tabla N° 32: Dosificación en peso de la mezcla con 0.5% de PEAD, se presentan los pesos en gramos de cada uno de los componentes de la mezcla.

Tabla N° 32: Dosificación en peso de la mezcla con 0.5% de PEAD

Contenido de asfalto	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
Peso agregados (g)	1160	1160	1160	1160	1160

<b>Peso Piedra (g) 35%</b>	406.0	406.0	406.0	406.0	406.0
<b>Peso Arena (g) 64.5%</b>	748.2	748.2	748.2	748.2	748.2
<b>Peso PEAD (g) 0.5%</b>	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
<b>Peso asfalto (g)</b>	61.1	67.5	74	80.6	87.3
<b>Peso Mezcla (g)</b>	1221.1	1227.5	1234	1240.6	1247.3

El PEAD reciclado se adiciona a los agregados (Arena y Piedra), justo antes de mezclarla con el cemento asfáltico.

### 5.2.3. Compactación de la mezcla

Para la fabricación de las briquetas de mezcla asfáltica se realiza la compactación mediante 75 golpes por cara inmediatamente después del mezclado de los materiales.

### 5.2.4. Peso específico bulk de las briquetas

Se muestra en la Tabla N° 33: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado, el cálculo del peso específico bulk para cada briketa compactada y en función del porcentaje de cemento asfáltico, de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D 2726 indicado en la página 92. Además, en la Tabla N° 34: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado, se muestra el peso específico bulk promedio de 3 briquetas compactadas por porcentaje de cementos asfáltico.

Tabla N° 33: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO BULK	Briquetas con 5.0% de C.A.			Briquetas con 5.5% de C.A.			Briquetas con 6.0% de C.A.			Briquetas con 6.5% de C.A.			Briquetas con 7.0% de C.A.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de la briketa al aire (g) (A)	1203.6	1211.2	1207.4	1212.4	1211.8	1212.0	1222.0	1221.0	1222.0	1231.2	1228.2	1229.8	1238.0	1231.0	1230.6
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en aire (g) (B)	1205.0	1212.2	1208.6	1213.9	1212.9	1212.8	1222.6	1221.8	1222.8	1231.8	1228.8	1230.4	1238.4	1231.4	1231.2
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en agua (g) (C)	673.0	680.6	676.8	673.4	690.0	682.6	701.0	687.4	687.2	701.2	705.0	700.0	711.0	705.6	706.2
Peso específico bulk de la briketa (g/cm³)	<b>2.262</b>	<b>2.278</b>	<b>2.270</b>	<b>2.243</b>	<b>2.317</b>	<b>2.286</b>	<b>2.343</b>	<b>2.285</b>	<b>2.282</b>	<b>2.320</b>	<b>2.345</b>	<b>2.319</b>	<b>2.347</b>	<b>2.341</b>	<b>2.344</b>

Tabla N° 34: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado

PESO ESPECÍFICO BULK					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Gmb	2.270	2.282	2.303	2.328	2.344

### 5.2.5. Peso específico teórico máximo (rice)

En la Tabla N° 35: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado, se muestran los resultados del ensayo de acuerdo al procedimiento indicado en la norma ASTM D 2726 cuya secuencia se muestra en la página 93.

Tabla N° 35: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

%PEAD	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	Peso Específico Máximo - RICE (g/cm <sup>3</sup> )
0.5	5.0	2.558
	5.5	2.523
	6.0	2.489
	6.5	2.441
	7.0	2.426

#### 5.2.6. Propiedades volumétricas

##### 5.2.6.1. Porcentaje de vacíos (%Va)

En la Tabla N° 36: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado, de acuerdo al contenido de cemento asfáltico, se muestran los valores promedios por cada tres briquetas.

Tabla N° 36: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE (%Va)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%Va	11.2	9.5	7.5	4.6	3.4

##### 5.2.6.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA)

En la Tabla N° 37: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado, se muestran los promedios de los valores de porcentaje de vacíos en el agregado mineral por cada tres briquetas de acuerdo al contenido de cemento asfáltico.

Tabla N° 37: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (%VMA)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%VMA	20.2	20.2	19.8	19.3	19.4

##### 5.2.6.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico (%VFA)

En la Tabla N° 38, se muestran los porcentajes promedios de vacíos llenados con cemento asfáltico, que se obtuvieron luego de calcular los vacíos de aire y los vacíos en el agregado mineral en porcentaje, y aplicar la expresión de la página 95.

Tabla N° 38: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%VMA)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%VFA	47.5	55.7	67.1	73.1	77.7

### 5.2.7. Prueba de estabilidad y flujo

#### 5.2.7.1. Estabilidad

Las lecturas obtenidas por los diales de carga en la prensa Marshall se reemplazan en la ecuación mostrada en la página 96, y luego corregida de acuerdo a la Tabla N° 28: Factor de corrección de estabilidad. En la Tabla N° 39: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado, se muestran las estabildades promedios corregidas en kilogramos por cada porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla N° 39: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Estabilidad corregida (kg)	893.0	948.0	1043.0	1065.0	1044.0

#### 5.2.7.2. Flujo

En la Tabla N° 40: Valores de flujo promedio de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado, se muestran los valores promedios obtenidos para el flujo, las cuales se registran inmediatamente después de que el dial de carga registre el máximo valor.

Tabla N° 40: Valores de flujo promedio de la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Flujo (mm)	4.4	5.0	5.2	5.4	5.4

## 5.3. DISEÑO DE MEZCLA CON INCORPORACIÓN DE 1.0% DE PEAD RECICLADO

### 5.3.1. Granulometría de la combinación de agregados

En la Tabla N° 41, se muestra la granulometría de la piedra, arena, PEAD reciclado y de la combinación, con proporciones de 35% de Piedra, 64.0% de Arena y 1.0% de PEAD reciclado.

Así mismo en la Figura N° 37, se muestra la curva granulométrica de la combinación y los husos granulométricos MAC-2 y D5, correspondiente al propuesto por el MTC y la norma ASTM D 3515 respectivamente.

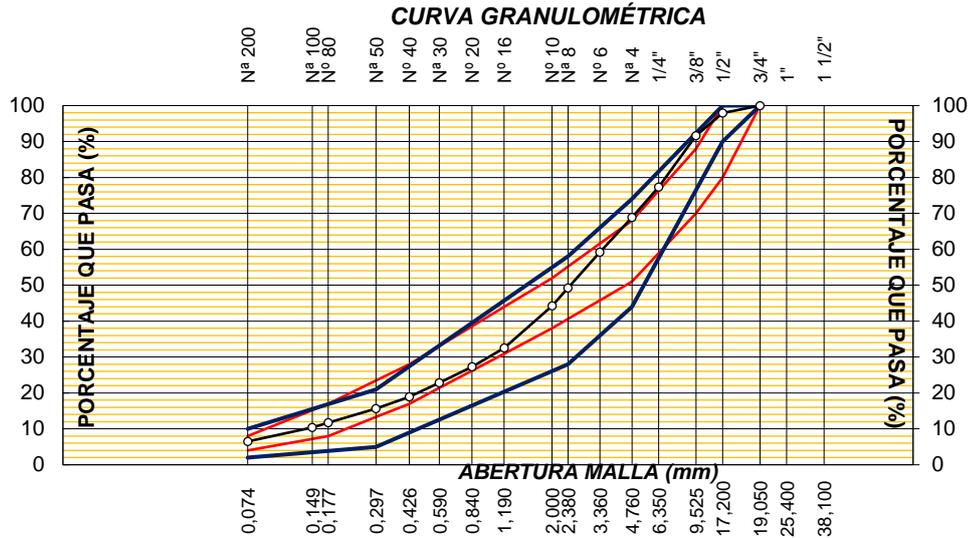


Figura N° 37: Granulometría de la combinación – Mezcla 1.0% PEAD reciclado

Tabla N° 41: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

MALLAS SERIE AMERICANA	Descripción	Piedra		Arena		PEAD		Resultado de la mezcla	
		RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)
3"	76.200								
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050		100.0						100
1/2"	12.700	6.0	94.0					2.1	97.9
3/8"	9.525	18.0	76.0					6.3	91.6
1/4"	6.350	41.0	35.0					14.3	77.3
N° 4	4.760	24.0	11.0		100.0			8.4	68.9

N° 6	3.360	9.0	2.0	10.0	90.0			9.6	59.3
N° 8	2.380	1.0	1.0	15.0	75.0			9.9	49.4
N° 10	2.000	1.0	-	7.0	68.0		100.0	4.9	44.5
N°16	1.190	-	-	18.0	50.0	68.0	32.0	12.2	32.3
N° 20	0.840	-	-	8.0	42.0	15.0	17.0	5.2	27.1
N° 30	0.590	-	-	7.0	35.0	11.0	6.0	4.6	22.5
N° 40	0.426	-	-	6.0	29.0	4.0	2.0	3.9	18.6
N° 50	0.297	-	-	5.0	24.0	1.0	1.0	3.2	15.4
N° 80	0.177	-	-	6.0	18.0	1.0	-	3.9	11.5
N° 100	0.149	-	-	2.0	16.0	-	-	1.3	10.2
N° 200	0.074	-	-	6.0	10.0	-	-	3.8	6.4
-200	-	-	-	10.0	-	-	-	6.4	-

### 5.3.2. Dosificación de la mezcla

Con la granulometría presentada de los agregados y en las proporciones de 35% de Piedra, 64.0% de Arena y 1.0% de PEAD reciclado, se realizaron tres mezclas asfálticas para compactación Marshall y uno para determinar la gravedad específica máxima de la mezcla en porcentajes de cemento asfáltico del 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5% de contenido de cemento asfáltico. En la Tabla N° 42: Dosificación en peso de la mezcla con 1.0 % de PEAD, se presentan los pesos en gramos de cada uno de los componentes de la mezcla.

Tabla N° 42: Dosificación en peso de la mezcla con 1.0 % de PEAD

Contenido de asfalto	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%
<b>Pesos agregados (g)</b>	1160	1160	1160	1160	1160
<i>Peso Piedra (g) 35%</i>	406.0	406.0	406.0	406.0	406.0
<i>Peso Arena (g) 64%</i>	742.4	742.4	742.4	742.4	742.4
<i>Peso PEAD (g) 1.0%</i>	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
<b>Peso asfalto (g)</b>	54.7	61.1	67.5	74	80.6
<b>Peso Mezcla (g)</b>	1214.7	1221.1	1227.5	1234	1240.6

El PEAD reciclado se adiciona a los agregados (Arena y Piedra), justo antes de mezclarla con el cemento asfáltico.

### 5.3.3. Compactación de la mezcla

Para la fabricación de las briquetas de mezcla asfáltica se realiza la compactación mediante 75 golpes por cara inmediatamente después del mezclado de los materiales.

### 5.3.4. Peso específico bulk de las briquetas

Se muestra en la Tabla N° 43: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado, el cálculo del peso específico bulk para cada briketa compactada y en función del porcentaje de cemento asfáltico, de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D 2726 indicado en la página 92. Además, en la Tabla N° 44: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 1.0% de PEAD reciclado, se muestra el peso específico bulk promedio de 3 briquetas compactadas por porcentaje de cementos asfáltico.

Tabla N° 43: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO BULK	Briquetas con 4.5% de C.A.			Briquetas con 5.0% de C.A.			Briquetas con 5.5% de C.A.			Briquetas con 6.0% de C.A.			Briquetas con 6.5% de C.A.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de la briketa al aire (g) (A)	1202.2	1206.9	1200.8	1205.3	1210.1	1211.6	1216.5	1215.6	1221.2	1216.8	1222.1	1225.9	1228.8	1227.0	1226.2
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en aire (g) (B)	1204.0	1212.2	1202.4	1207.2	1212.1	1213.5	1217.2	1216.2	1221.8	1217.5	1222.7	1226.2	1229.4	1227.3	1226.9
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en agua (g) (C)	671.8	680.6	669.4	676.6	680.4	681.2	685.4	684.4	687.8	687.6	689.6	691.4	694.5	693.4	692.4
Peso específico bulk de la briketa (g/cm <sup>3</sup> )	2.259	2.270	2.253	2.272	2.276	2.276	2.288	2.286	2.287	2.296	2.292	2.292	2.297	2.298	2.294

Tabla N° 44: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 1.0% de PEAD reciclado

PESO ESPECÍFICO BULK					
%C.A.	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
Gmb	2.261	2.275	2.287	2.293	2.296

### 5.3.5. Peso específico teórico máximo (rice)

En la Tabla N°45: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado, se muestran los resultados del ensayo de acuerdo al procedimiento indicado en la norma ASTM D 2726 cuya secuencia se muestra en la página 93.

Tabla N° 45: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

%PEAD	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	Peso Específico Máximo - RICE (g/cm <sup>3</sup> )
1.0	4.5	2.502
	5.0	2.481
	5.5	2.465
	6.0	2.446
	6.5	2.431

### 5.3.6. Propiedades volumétricas

#### 5.3.6.1. Porcentaje de vacíos (%Va)

En la Tabla N° 46: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado, de acuerdo al contenido de cemento asfáltico, se muestran los valores promedios por cada tres briquetas.

Tabla N° 46: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE (%Va)					
%C.A.	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
%Va	9.8	8.3	7.2	6.2	5.5

### 5.3.6.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA)

En la Tabla N° 47: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado, se muestran los promedios de los valores de porcentaje de vacíos en el agregado mineral por cada tres briquetas de acuerdo al contenido de cemento asfáltico.

Tabla N° 47: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (%VMA)					
%C.A.	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
%VMA	19.4	19.3	19.3	19.5	19.6

### 5.3.6.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico (%VFA)

En la Tabla N° 48, se muestran los porcentajes promedios de vacíos llenados con cemento asfáltico, que se obtuvieron luego de calcular los vacíos de aire y los vacíos en el agregado mineral en porcentaje, y aplicar la expresión de la página 95.

Tabla N° 48: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%VFA)					
%C.A.	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
%VFA	49.4	57.0	62.5	68.0	71.8

## 5.3.7. Prueba de estabilidad y flujo

### 5.3.7.1. Estabilidad

Las lecturas obtenidas por los diales de carga en la prensa Marshall se reemplazan en la ecuación mostrada en la página 96, y luego corregida de

acuerdo a la Tabla N° 28: Factor de corrección de estabilidad. En la Tabla N° 49: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado, se muestran las estabildades promedios corregidas en kilogramos por cada porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla N° 49: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

%C.A.	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
Estabilidad corregida (kg)	1332.0	1378.0	1408.0	1415.0	1438.0

### 5.3.7.2. Flujo

En la Tabla N° 50: Valores de flujo promedio de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado, se muestran los valores promedios obtenidos para el flujo, las cuales se registran inmediatamente después de que el dial de carga registre el máximo valor.

Tabla N° 50: Valores de flujo promedio de la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

%C.A.	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
Flujo (mm)	4.4	5.0	5.2	5.3	5.4

## 5.4. DISEÑO DE MEZCLA CON INCORPORACIÓN DE 1.5% DE PEAD RECICLADO

### 5.4.1. Granulometría de la combinación de agregados

Se determina la granulometría de la mezcla de piedra, arena y PEAD reciclado, el mismo que tiene que estar dentro de uno de los husos granulométricos de acuerdo a las Especificaciones Generales para la Construcción propuesta por el MTC, y que alternativamente se puede utilizar el de la norma ASTM D 3515.

En la Tabla N° 51, se muestra la granulometría de la piedra, arena, PEAD reciclado y de la mezcla de estas, con proporciones de 35% de Piedra, 63.5% de Arena y 1.5% de PEAD reciclado.

Así mismo en la Figura N° 38, se muestra la curva granulométrica de la combinación y los husos granulométricos MAC-2 y D5, correspondiente al propuesto por el MTC y la norma ASTM D 3515 respectivamente.

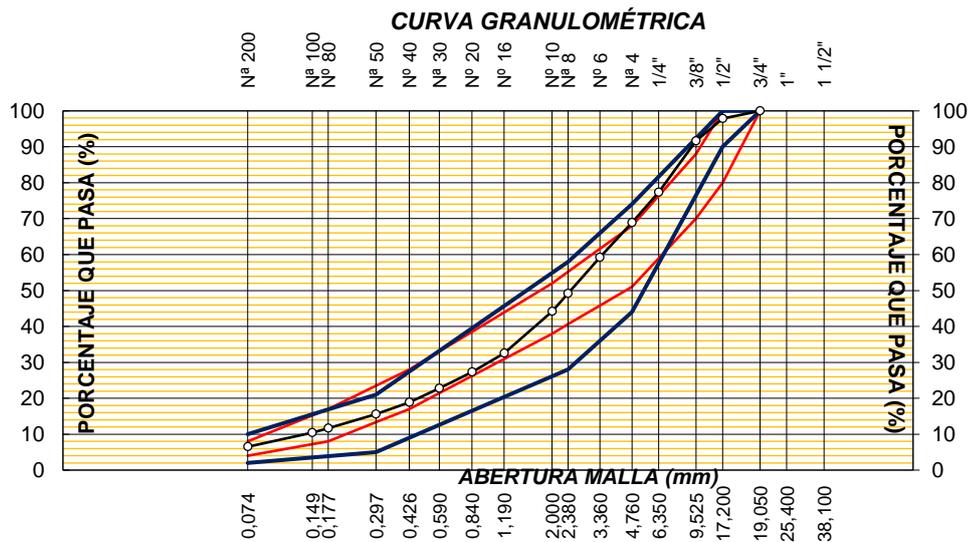


Figura N° 38: Granulometría de la combinación – Mezcla 1.5% PEAD reciclado

Tabla N° 51: Granulometría de la piedra, arena y de la combinación para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

MALLAS SERIE AMERICANA	Descripción	Piedra		Arena		PEAD		Resultado de la mezcla	
		Abertura (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200								
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050		100.0						100
1/2"	12.700	6.0	94.0					2.1	97.9
3/8"	9.525	18.0	76.0					6.3	91.6
1/4"	6.350	41.0	35.0					14.3	77.3
N° 4	4.760	24.0	11.0		100.0			8.4	68.9
N° 6	3.360	9.0	2.0	10.0	90.0			9.5	59.4
N° 8	2.380	1.0	1.0	15.0	75.0			9.9	49.5
N° 10	2.000	1.0	-	7.0	68.0		100.0	4.8	44.7
N°16	1.190	-	-	18.0	50.0	68.0	32.0	12.4	32.3
N° 20	0.840	-	-	8.0	42.0	15.0	17.0	5.3	27
N° 30	0.590	-	-	7.0	35.0	11.0	6.0	4.7	22.3
N° 40	0.426	-	-	6.0	29.0	4.0	2.0	3.9	18.4
N° 50	0.297	-	-	5.0	24.0	1.0	1.0	3.2	15.2
N° 80	0.177	-	-	6.0	18.0	1.0	-	3.8	11.4

N° 100	0.149	-	-	2.0	16.0	-	-	1.2	10.2
N° 200	0.074	-	-	6.0	10.0	-	-	3.8	6.4
-200	-	-	-	10.0	-	-	-	6.4	-

#### 5.4.2. Dosificación de la mezcla

Con la granulometría presentada de los agregados y en las proporciones de 35% de Piedra, 63.5% de Arena y 1.5% de PEAD reciclado, se realizaron tres mezclas asfálticas para compactación Marshall y uno para determinar la gravedad específica máxima de la mezcla en porcentajes de cemento asfáltico del 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% de contenido de cemento asfáltico. En la Tabla N° 52: Dosificación en peso de la mezcla con 1.5% de PEAD, se presentan los pesos en gramos de cada uno de los componentes de la mezcla.

Tabla N° 52: Dosificación en peso de la mezcla con 1.5% de PEAD

Contenido de asfalto	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
<b>Pesos agregados (g)</b>	1160	1160	1160	1160	1160
<i>Peso Piedra (g) 35%</i>	406.0	406.0	406.0	406.0	406.0
<i>Peso Arena (g) 63.5%</i>	736.6	736.6	736.6	736.6	736.6
<i>Peso PEAD (g) 1.5%</i>	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
<b>Peso asfalto (g)</b>	61.1	67.5	74	80.6	87.3
<b>Peso Mezcla (g)</b>	1221.1	1227.5	1234	1240.6	1247.3

El PEAD reciclado se adiciona a los agregados (Arena y Piedra), justo antes de mezclarla con el cemento asfáltico.

#### 5.4.3. Compactación de la mezcla

Para la fabricación de las briquetas de mezcla asfáltica se realiza la compactación mediante 75 golpes por cara inmediatamente después del mezclado de los materiales.

#### 5.4.4. Peso específico bulk de las briquetas

Se muestra en la Tabla N° 53: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla para 1.5% de PEAD reciclado, el cálculo del peso específico bulk para cada briqueta compactada y en función del porcentaje de cemento asfáltico, de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D 2726 indicado en la página 92. Además, en la Tabla N° 54: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 1.5%

de PEAD reciclado, se muestra el peso específico bulk promedio de 3 briquetas compactadas por porcentaje de cementos asfáltico.

Tabla N° 53: Peso específico bulk de las briquetas de la mezcla para 1.5% de PEAD reciclado

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO BULK	Briquetas con 5.0% de C.A.			Briquetas con 5.5% de C.A.			Briquetas con 6.0% de C.A.			Briquetas con 6.5% de C.A.			Briquetas con 7.0% de C.A.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de la briketa al aire(g) (A)	1208.0	1206.6	1209.1	1215.6	1219.4	1214.9	1223.2	1224.2	1221.4	1218.9	1231.9	1229.2	1232.4	1234.0	1234.7
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en aire (g) (B)	1209.4	1208.0	1210.6	1216.9	1220.8	1215.3	1224.3	1225.3	1222.5	1219.6	1232.8	1230.4	1233.1	1235.0	1235.7
Peso de la briketa saturada superficialmente seca en agua (g) (C)	659.2	665.0	663.8	673.4	672.6	669.4	684.6	682.8	684.6	679.0	693.2	690.8	689.6	691.2	691.0
Peso específico bulk de la briketa (g/cm³)	2.196	2.222	2.211	2.237	2.224	2.225	2.266	2.257	2.271	2.255	2.283	2.278	2.268	2.269	2.267

Tabla N° 54: Peso específico Bulk promedio de la mezcla asfáltica con 1.5% de PEAD reciclado

PESO ESPECÍFICO BULK					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Gmb	2.210	2.229	2.265	2.272	2.268

#### 5.4.5. Peso específico teórico máximo (rice)

En la Tabla N° 55: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado, se muestran los resultados del ensayo de acuerdo al procedimiento indicado en la norma ASTM D 2726 cuya secuencia se muestra en la página 93.

Tabla N° 55: Peso específico teórico máximo de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

%PEAD	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	Peso Específico Máximo - RICE (g/cm3)
1.5	5.0	2.460
	5.5	2.451
	6.0	2.438
	6.5	2.414
	7.0	2.390

#### 5.4.6. Propiedades volumétricas

##### 5.4.6.1. Porcentaje de vacíos (%Va)

En la Tabla N° 56: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado, de acuerdo al contenido de cemento asfáltico, se muestran los valores promedios por cada tres briquetas.

Tabla N° 56: Promedio de porcentajes de vacíos de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE (%Va)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%Va	10.2	9.1	7.1	5.9	5.1

#### 5.4.6.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA)

En la Tabla N° 57: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado, se muestran los promedios de los valores de porcentaje de vacíos en el agregado mineral por cada tres briquetas de acuerdo al contenido de cemento asfáltico.

Tabla N° 57: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (%VMA)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%VMA	20.9	20.6	19.7	19.9	20.6

#### 5.4.6.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico (%VFA)

En la Tabla N° 58, se muestran los porcentajes promedios de vacíos llenados con cemento asfáltico, que se obtuvieron luego de calcular los vacíos de aire y los vacíos en el agregado mineral en porcentaje, y aplicar la expresión de la página 95.

Tabla N° 58: Promedio de porcentajes de vacíos en el agregado mineral para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (%VFA)					
%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
%VFA	51.3	55.9	64.0	70.5	75.2

#### 5.4.7. Prueba de estabilidad y flujo

##### 5.4.7.1. Estabilidad

Las lecturas obtenidas por los diales de carga en la prensa Marshall se reemplazan en la ecuación mostrada en la página 96, y luego corregida de acuerdo a la Tabla N° 28: Factor de corrección de estabilidad. En la Tabla N° 59: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado, se muestran las estabildades promedios corregidas en kilogramos por cada porcentaje de cemento asfáltico.

Tabla N° 59: Valores de estabilidad promedio de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Estabilidad corregida (kg)	1101.0	1150.0	1189.0	1212.0	1215.0

#### 5.4.7.2. Flujo

En la Tabla N° 60: Valores de flujo promedio de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado, se muestran los valores promedios obtenidos para el flujo, las cuales se registran inmediatamente después de que el dial de carga registre el máximo valor.

Tabla N° 60: Valores de flujo promedio de la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

%C.A.	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Flujo (mm)	4.6	4.8	4.9	5.2	5.2

## CAPÍTULO VI: ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. CALIDAD DE LOS AGREGADOS

Se realizaron los ensayos correspondientes para la determinación de la calidad del agregado grueso y el agregado fino, según las especificaciones técnicas generales para construcción. En los anexos se presentan los certificados y los cálculos de los resultados de laboratorio.

A continuación, se resume en la Tabla N° 61, los resultados de laboratorio de los agregados.

Tabla N° 61: Resultados de ensayos de laboratorio para los agregados

Tipo de Agregado	Ensayos	Norma	Requerimiento (EG-2013)		Resultado de Laboratorio
			Altitud (msnm)		
			≤3000	>3000	
AGREGADO GRUESO	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx	15% máx	13.50%
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx	35% máx	17%
	Partículas chatas y alargadas	MTC E 223	10% máx	10% máx	9.60%
	Caras fracturadas	MTC E 210	85/50 mín	90/70 mín	89.1/77.1
	Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0,5% máx	1080 ppm (0.108%)
	Absorción	MTC E 206	1.0% máx	1.0 % máx	0.86%
AGREGADO FINO	Equivalente de Arena	MTC E 114	60% mín	70% mín	65%
	Azul de metileno	AASHTO T 330 07	8 máx	8 máx	13.5 mg/g
	Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP	NP
	Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx	No requiere
	Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 máx	NP	NP
	Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx	1208 ppm (0.1208%)
	Absorción	MTC E 205	0.5% máx	0.5% máx	0.47%

Asumiendo que la zona de trabajo será a menos de 3000 msnm y que de acuerdo a las especificaciones técnicas tanto para el agregado grueso y el agregado fino, y a los resultados de laboratorio para determinar la calidad de los materiales, se

podría decir que el uso de los mismos para mezclas asfálticas en caliente está permitido.

## 6.2. PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

### 6.2.1. De la mezcla asfáltica patrón

Para el análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica patrón es necesario determinar el valor óptimo de contenido de cemento asfáltico, para lo cual es preciso realizar 6 gráficas: vacíos de aire (%), vacíos en el agregado mineral (%), vacíos llenados con cemento asfáltico (%), peso específico, estabilidad y flujo; todas ellas versus el porcentaje de cemento asfáltico.

#### 6.2.1.1. Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 39: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos de aire en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla patrón.

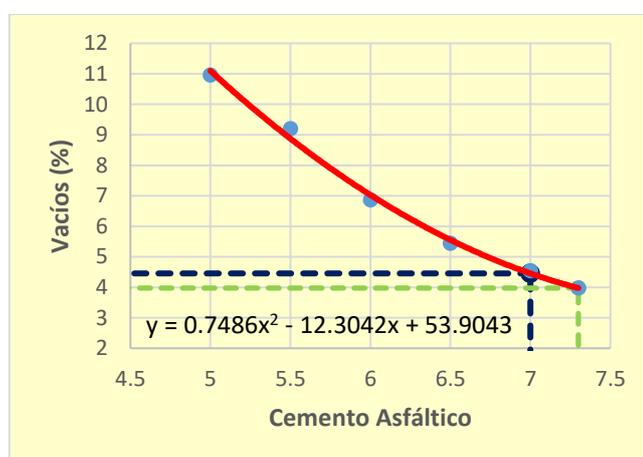


Figura N° 39: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%)

De acuerdo a las especificaciones el valor del porcentaje de vacíos de aire debe estar entre 3.0 % y 5.0 %, se escoge un valor de 4.45% de vacíos de aire, lo que resulta un valor de 7.0 % de cemento asfáltico. Con este contenido de cemento asfáltico se ingresa a las demás gráficas para obtener las demás propiedades.

6.2.1.2. *Porcentaje de vacíos en el agregado mineral vs porcentaje de cemento asfáltico*

En la Figura N° 40: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos en el agregado mineral en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla patrón.

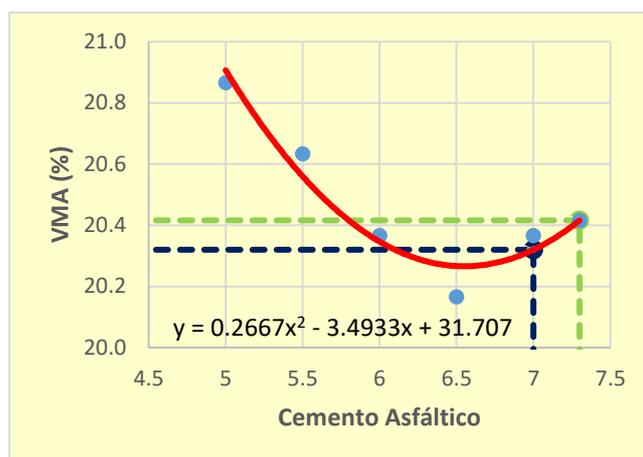


Figura N° 40: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%)

Luego de determinar el porcentaje de cemento asfáltico para que el porcentaje de vacíos de aire esté entre 3% y 5%, el cuál fue 7%, se procede a calcular las demás propiedades, para el caso del %VMA es 20.3.

6.2.1.3. *Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico vs porcentaje de cemento asfáltico*

En la Figura N° 41: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos llenados con cemento asfáltico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla patrón.

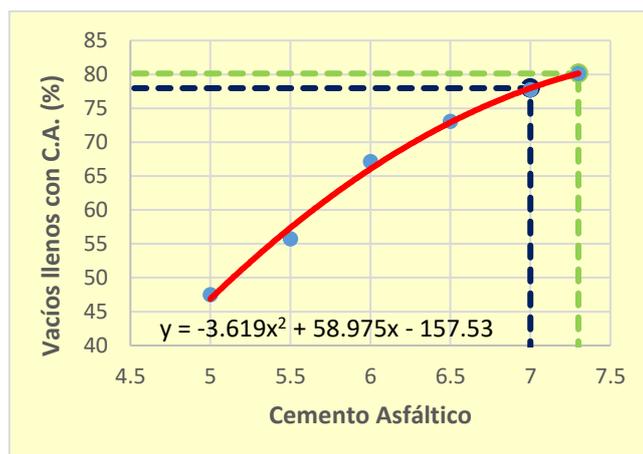


Figura N° 41: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%)

Para 7% de cemento asfáltico, el valor de %VFA es 78.0.

#### 6.2.1.4. Peso específico vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 42: Peso específico vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de peso específico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla patrón.

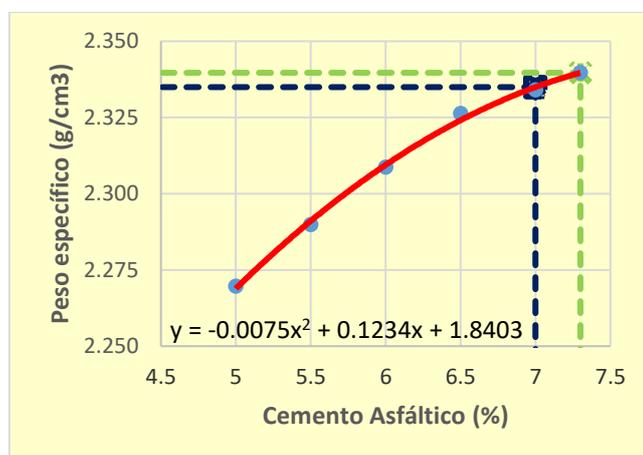


Figura N° 42: Peso específico vs cemento asfáltico (%)

Para 7% de cemento asfáltico, el valor del peso específico es de 2.335 g/cm³.

#### 6.2.1.5. Estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 43: Estabilidad vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de la estabilidad Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla patrón.

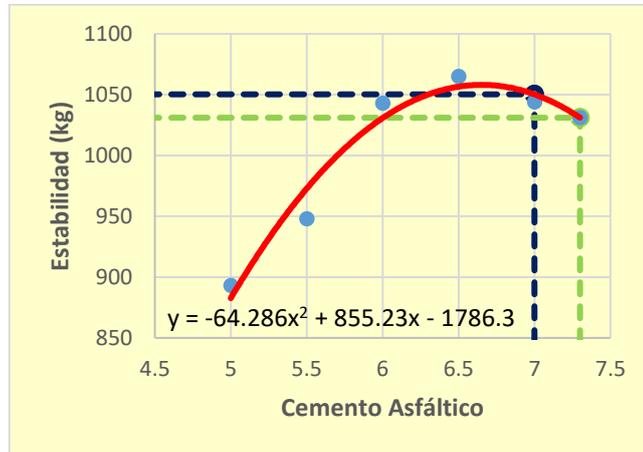


Figura N° 43: Estabilidad vs cemento asfáltico (%)

Para 7% de cemento asfáltico, el valor de la estabilidad es de 1050.3 kg.

#### 6.2.1.6. Flujo vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 44: Flujo vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios del flujo Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla patrón.

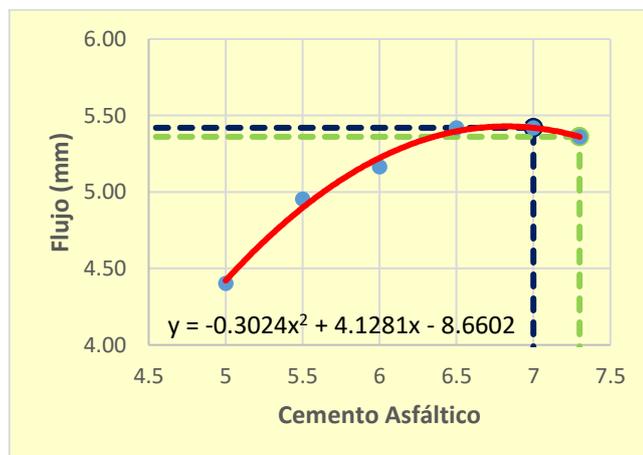


Figura N° 44: Flujo vs cemento asfáltico (%)

6.2.1.7. Resumen de diseño de mezcla patrón

Tabla N° 62: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla patrón

N° Golpes por cara	75					
	Contenido óptimo de asfalto (%)	6.8		7.0		7.2
Peso específico bulk (g/cm <sup>3</sup> )	2.331		2.335		2.338	
Vacíos (%)	4.8		4.5		4.1	
Vacíos en el agregado mineral (%)	20.3		20.3		20.4	
Vacíos llenos de asfalto (%)	76.2		78.0		79.5	
Estabilidad kg (kN)	1056.6	(10.362)	1050.3	(10.300)	1038.7	(10.186)
Flujo mm (0.01 pulg)	5.43	(21.4)	5.42	(21.3)	5.39	(21.2)
Relación E/F kg/cm (lb/pulg)	1946.0	(5.0)	1938.0	(5.0)	1928.0	(5.0)

6.2.2. De la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD

De igual manera que la mezcla asfáltica patrón, para el análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 0.5% de PEAD reciclado se determina el valor óptimo de contenido de cemento asfáltico, por lo que se realizan las gráficas: vacíos de aire (%), vacíos en el agregado mineral (%), vacíos llenados con cemento asfáltico (%), peso específico, estabilidad y flujo; todas ellas versus el porcentaje de cemento asfáltico.

6.2.2.1. Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 45: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos de aire en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

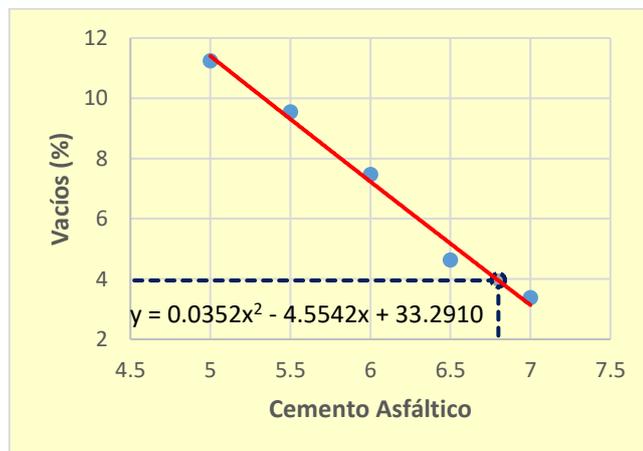


Figura N° 45: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%)

De acuerdo a las especificaciones el valor del porcentaje de vacíos de aire debe estar entre 3.0 % y 5.0 %, se escoge un valor de 4.0% de vacíos de aire, lo que resulta un valor de 6.8 % de cemento asfáltico. Con este contenido de cemento asfáltico se ingresa a las demás gráficas para obtener las demás propiedades.

### 6.2.2.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 46: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos en el agregado mineral en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

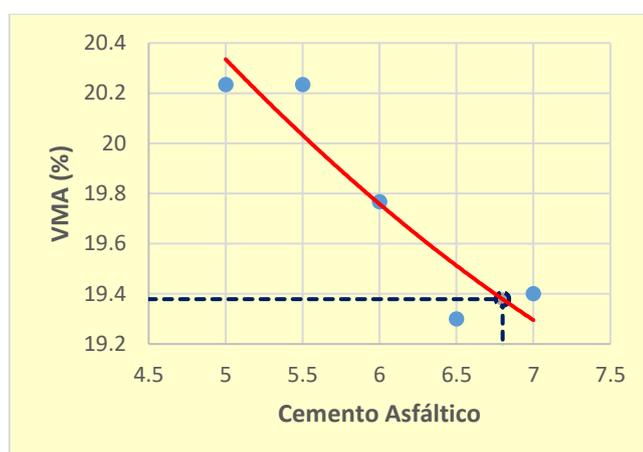


Figura N° 46: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%)

Luego de determinar el porcentaje de cemento asfáltico para que el porcentaje de vacíos de aire esté entre 3% y 5%, el cuál fue 6.8%, se procede a calcular las demás propiedades, para el caso del %VMA es 19.4.

### 6.2.2.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 47: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos llenados con cemento asfáltico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

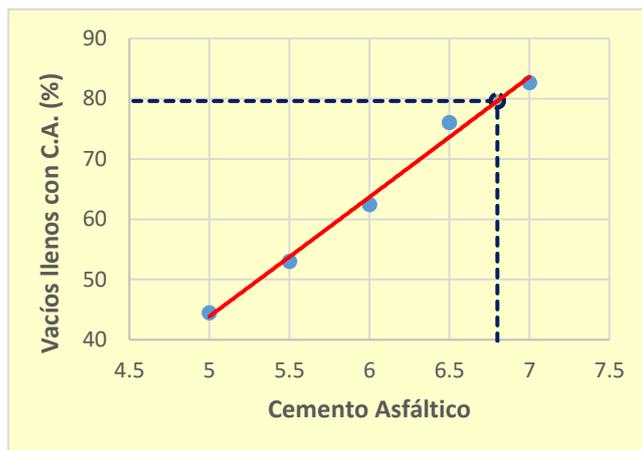


Figura N° 47: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%)

#### 6.2.2.4. Peso específico vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 48: Peso específico vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de peso específico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

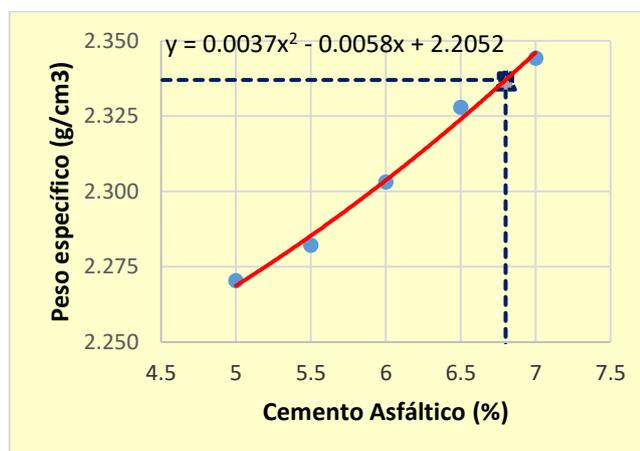


Figura N° 48: Peso específico vs cemento asfáltico (%)

Para 6.8% de cemento asfáltico, el valor del peso específico es de 2.337 g/cm<sup>3</sup>.

#### 6.2.2.5. Estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 49: Estabilidad vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de la estabilidad Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

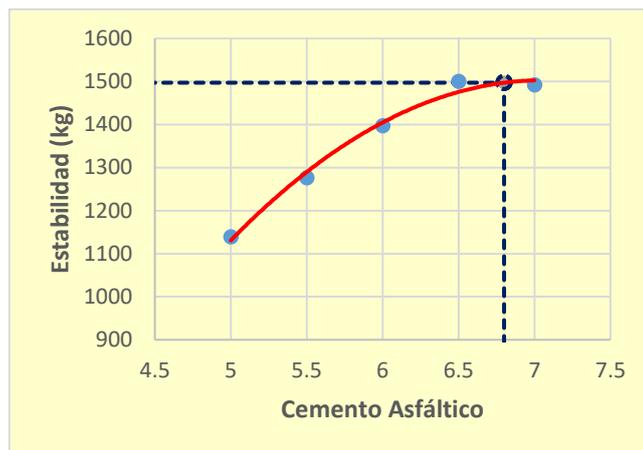


Figura N° 49: Estabilidad vs cemento asfáltico (%)

Para 6.8% de cemento asfáltico, el valor de la estabilidad es de 1497.3 kg.

#### 6.2.2.6. Flujo vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 50: Flujo vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios del flujo Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado.

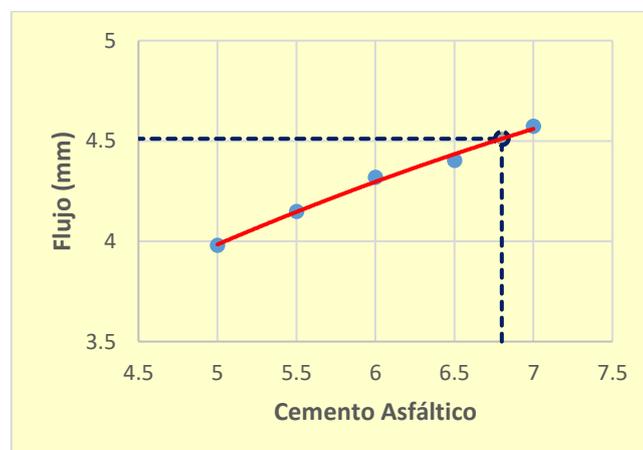


Figura N° 50: Flujo vs cemento asfáltico (%)

Para 6.8% de cemento asfáltico, el valor del flujo Marshall es 4.5.

#### 6.2.2.7. Resumen de diseño de mezcla con incorporación de 0.5% de PEAD reciclado

Tabla N° 63: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 0.5% de PEAD reciclado

<b>N° Golpes por cara</b>	75					
<b>Contenido óptimo de asfalto (%)</b>	6.6	6.8	7			
<b>Peso específico bulk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.328	2.337	2.346			
<b>Vacíos (%)</b>	4.8	4.0	3.1			
<b>Vacíos en el agregado mineral (%)</b>	19.5	19.4	19.3			
<b>Vacíos llenos de asfalto (%)</b>	75.6	79.6	83.6			
<b>Estabilidad kg (kN)</b>	1484.7	(14.560)	1497.3	(14.683)	1502.8	(14.737)
<b>Flujo mm (0.01 pulg)</b>	4.46	(17.560)	4.51	(17.760)	4.56	(17.952)
<b>Relación E/F kg/cm (lb/pulg)</b>	3329.0	(8.0)	3319.0	(8.0)	3296.0	(8.0)

6.2.3. De la mezcla asfáltica con 1.0% de PEAD

Se determina el valor óptimo de contenido de cemento asfáltico, realizando las gráficas de: vacíos de aire (%), vacíos en el agregado mineral (%), vacíos llenados con cemento asfáltico (%), peso específico, estabilidad y flujo; todas ellas versus el porcentaje de cemento asfáltico, a fin de analizar las propiedades de la mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 1.0% de PEAD reciclado.

6.2.3.1. Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 51: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos de aire en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado.

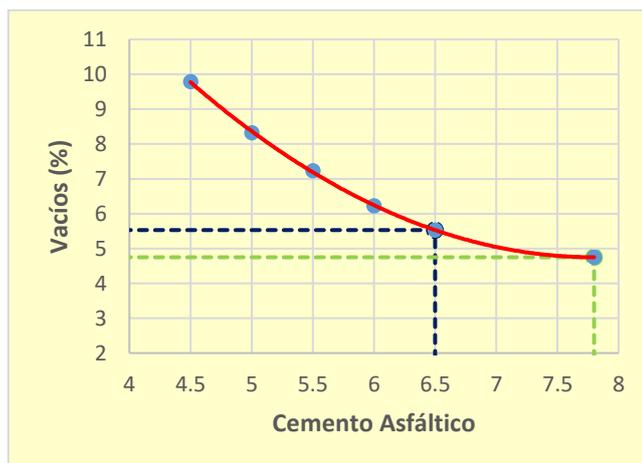


Figura N° 51: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%)

De acuerdo a las especificaciones el valor del porcentaje de vacíos de aire debe estar entre 3.0 % y 5.0 %, se escoge un valor de 4.7% de vacíos de aire, lo que

resulta un valor de 7.8 % de cemento asfáltico. Con este contenido de cemento asfáltico se ingresa a las demás gráficas para obtener las demás propiedades.

### 6.2.3.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 52: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos en el agregado mineral en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado.

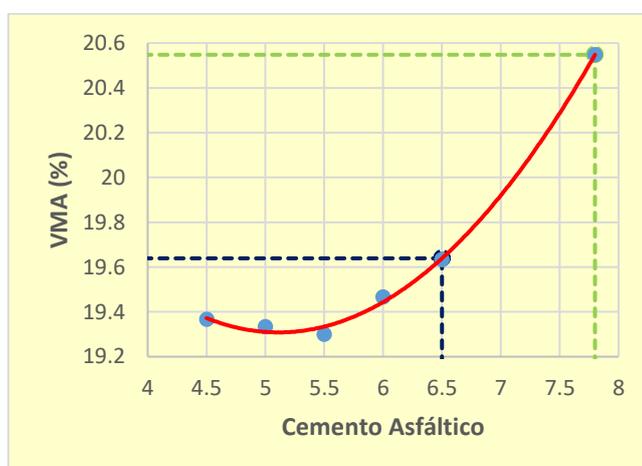


Figura N° 52: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%)

Luego de determinar el porcentaje de cemento asfáltico para que el porcentaje de vacíos de aire esté entre 3% y 5%, el cuál fue 7.8%, se procede a calcular las demás propiedades, para el caso del %VMA es 20.5.

### 6.2.3.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico vs porcentaje de cemento asfáltico

En Figura N° 53: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos llenados con cemento asfáltico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado.

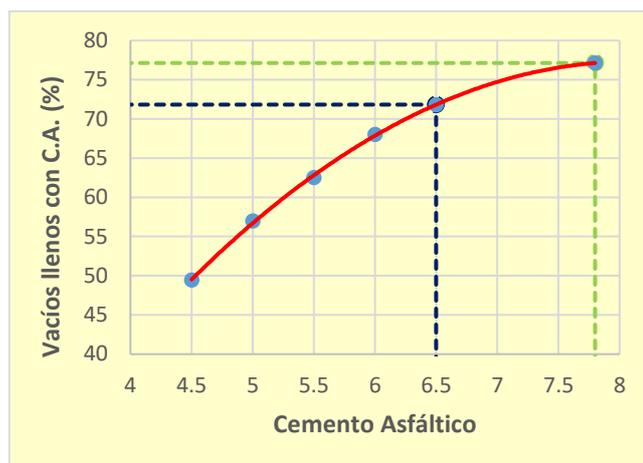


Figura N° 53: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%)

#### 6.2.3.4. Peso específico vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 54: Peso específico vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de peso específico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado.

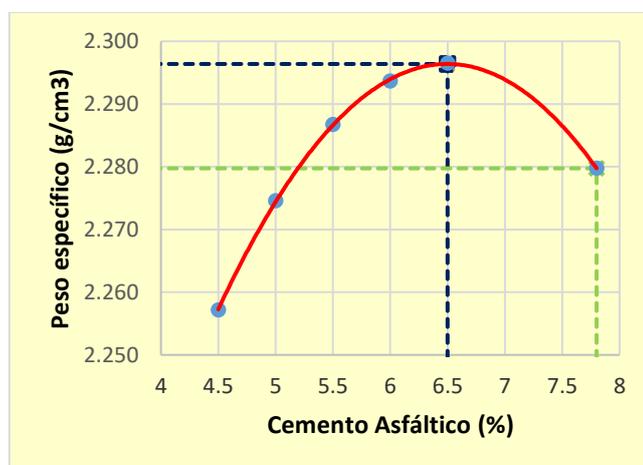


Figura N° 54: Peso específico vs cemento asfáltico (%)

Para 7.8% de cemento asfáltico, el valor del peso específico es de 2.280 g/cm³.

#### 6.2.3.5. Estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 55: Estabilidad vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de la estabilidad Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado.

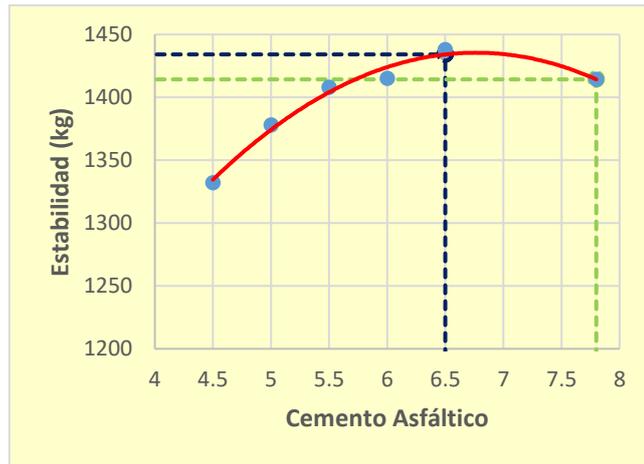


Figura N° 55: Estabilidad vs cemento asfáltico (%)

Para 7.8% de cemento asfáltico, el valor de la estabilidad es de 1414.3 kg.

#### 6.2.3.6. Flujo vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 56: Flujo vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios del flujo Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado.

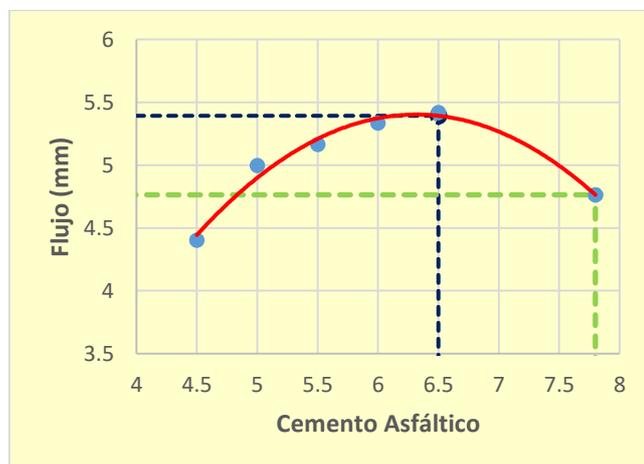


Figura N° 56: Flujo vs cemento asfáltico (%)

Para 7.8% de cemento asfáltico, el valor del flujo Marshall es 4.8.

#### 6.2.3.7. Resumen de diseño de mezcla con incorporación de 1.0% de PEAD reciclado

Tabla N° 64: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 1.0% de PEAD reciclado

<b>N° Golpes por cara</b>	75					
<b>Contenido óptimo de asfalto (%)</b>	7.6		7.8		8	
<b>Peso específico bulk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.284		2.280		2.274	
<b>Vacíos (%)</b>	4.8		4.7		4.8	
<b>Vacíos en el agregado mineral (%)</b>	20.4		20.5		20.7	
<b>Vacíos llenos de asfalto (%)</b>	76.8		77.1		77.3	
<b>Estabilidad kg (kN)</b>	1421.7	(13.942)	1414.3	(13.870)	1405.3	(13.782)
<b>Flujo mm (0.01 pulg)</b>	4.92	(19.385)	4.76	(18.752)	4.58	(18.029)
<b>Relación E/F kg/cm (lb/pulg)</b>	2887.0	(7.0)	2969.0	(7.0)	3069.0	(8.0)

6.2.4. De la mezcla asfáltica con 1.5% de PEAD

Se determina el valor óptimo de contenido de cemento asfáltico para analizar las propiedades de la mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 1.5% de PEAD reciclado, por lo que se realizan las gráficas de: vacíos de aire (%), vacíos en el agregado mineral (%), vacíos llenados con cemento asfáltico (%), peso específico, estabilidad y flujo; todas ellas versus el porcentaje de cemento asfáltico.

6.2.4.1. Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 57: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos de aire en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado.

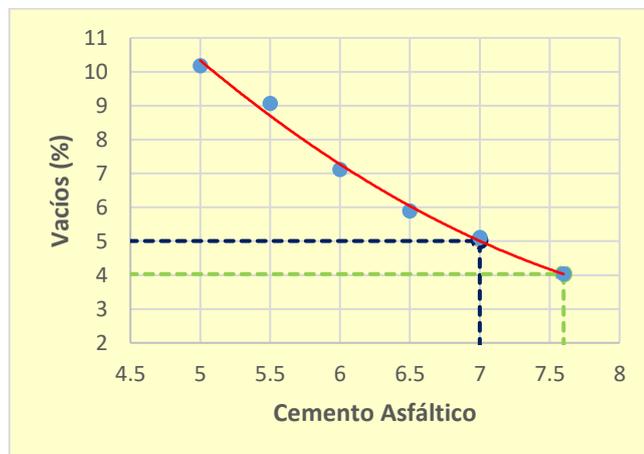


Figura N° 57: vacíos de aire (%) vs cemento asfáltico (%)

Según las especificaciones el valor del porcentaje de vacíos de aire debe estar entre 3.0 % y 5.0 %, se escoge un valor de 4.0% de vacíos de aire, lo que resulta un valor de 7.6 % de cemento asfáltico. Con este contenido de cemento asfáltico se ingresa a las demás gráficas para obtener las demás propiedades.

**6.2.4.2. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral vs porcentaje de cemento asfáltico**

En la Figura N° 58: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos en el agregado mineral en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado.

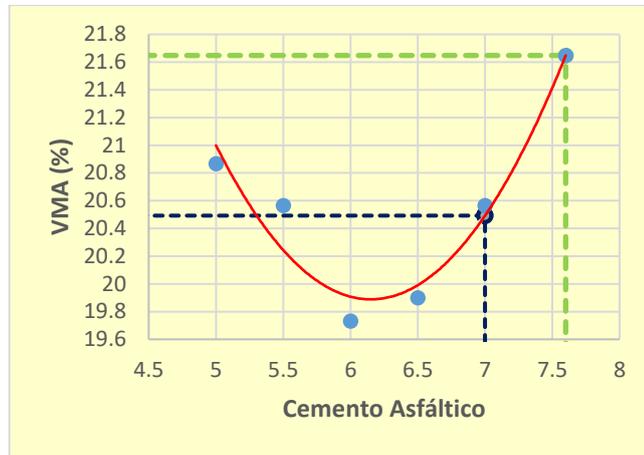


Figura N° 58: vacíos en el agregado mineral (%) vs cemento asfáltico (%)

Luego de determinar el porcentaje de cemento asfáltico para que el porcentaje de vacíos de aire esté entre 3% y 5%, el cuál fue 7.6%, se procede a calcular las demás propiedades, para el caso del %VMA es 21.6.

**6.2.4.3. Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico vs porcentaje de cemento asfáltico**

En la Figura N° 59: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de porcentajes de vacíos llenados con cemento asfáltico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado.

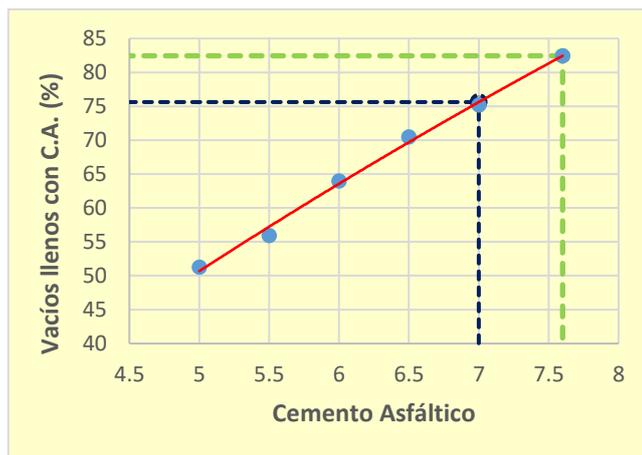


Figura N° 59: vacíos llenados con cemento asfáltico (%) vs cemento asfáltico (%)

#### 6.2.4.4. Peso específico vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 60: Peso específico vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de peso específico en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado.

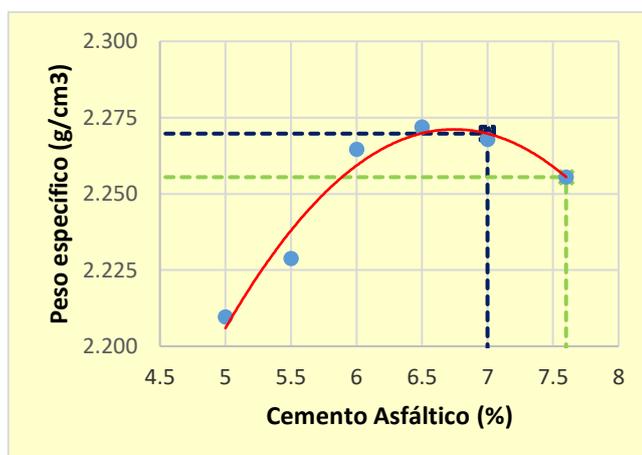


Figura N° 60: Peso específico vs cemento asfáltico (%)

Para 7.6% de cemento asfáltico, el valor del peso específico es de 2.255 g/cm<sup>3</sup>.

#### 6.2.4.5. Estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 49: Estabilidad vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios de la estabilidad Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado.

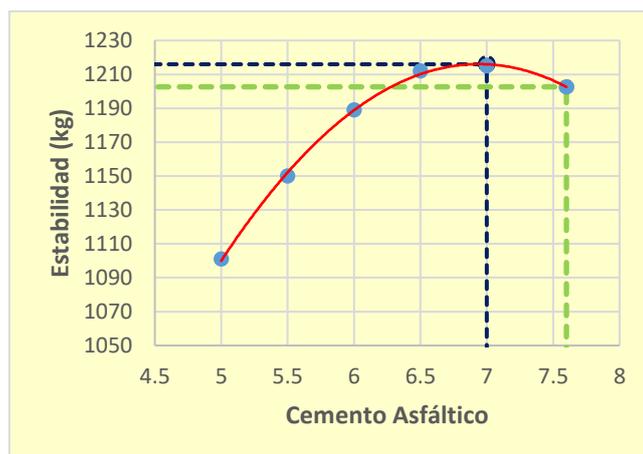


Figura N° 61: Estabilidad vs cemento asfáltico (%)

Para 7.6% de cemento asfáltico, el valor de la estabilidad es de 1202.6 kg.

#### 6.2.4.6. Flujo vs porcentaje de cemento asfáltico

En la Figura N° 62: Flujo vs cemento asfáltico (%), se observa los valores promedios del flujo Marshall en función al porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado.

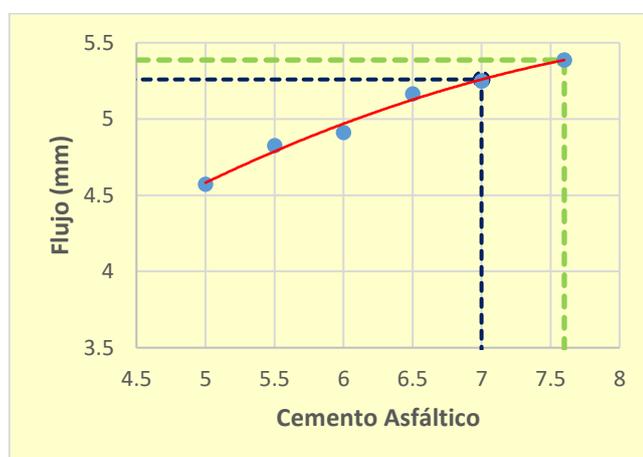


Figura N° 62: Flujo vs cemento asfáltico (%)

Para 7.6% de cemento asfáltico, el valor del flujo Marshall es 5.4.

#### 6.2.4.7. Resumen de diseño de mezcla con incorporación de 1.5% de PEAD reciclado

Tabla N° 65: Resumen de valores de las propiedades de la mezcla asfáltica en función al contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla con 1.5% de PEAD reciclado

<b>N° Golpes por cara</b>	75					
<b>Contenido óptimo de asfalto (%)</b>	7.4	7.6	7.8			
<b>Peso específico bulk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.262	2.255	2.247			
<b>Vacíos (%)</b>	4.3	4.0	3.8			
<b>Vacíos en el agregado mineral (%)</b>	21.2	21.6	22.2			
<b>Vacíos llenos de asfalto (%)</b>	80.2	82.4	84.7			
<b>Estabilidad kg (kN)</b>	1209.5	(11.862)	1202.6	(11.794)	1193.3	(11.702)
<b>Flujo mm (0.01 pulg)</b>	5.35	(21.055)	5.39	(21.208)	5.42	(21.345)
<b>Relación E/F kg/cm (lb/pulg)</b>	2262.0	(6.0)	2233.0	(6.0)	2201.0	(5.0)

### 6.2.5. Especificaciones de las propiedades de la mezcla asfáltica

Los requisitos para el análisis de las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica se presentan en la Tabla N° 66.

Tabla N° 66: Especificaciones de las propiedades de la mezcla asfáltica

Parámetro de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
Flujo 0.01" (0.25mm)	8 - 14	8 - 16	08 - 20
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	-		
% de vacíos	3 - 5		
VMA (mínimo)	14 % (TM=3/4")		
VFA (%)	65-75	65 -78	70-80

Fuente: EG-2013, Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013)

De los resultados que se obtuvieron para los diferentes diseños de mezclas asfálticas, se verifica que el diseño de mezcla con incorporación por vía seca de 0.5% de PEAD reciclado es la que mejores propiedades tiene, siendo 6.8% el porcentaje óptimo de cemento asfáltico. Por otro lado, en la Tabla N° 67, se muestra la comparación de éste con el diseño de mezcla asfáltica patrón en el que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico es de 7.0%.

Tabla N° 67: Comparación de propiedades de la mezcla asfáltica patrón y mezcla asfáltica modificada (0.5% de PEAD reciclado)

Comparación de la mezcla asfáltica modificada (0.5% PEAD reciclado) y mezcla asfáltica PATRÓN (0% PEAD reciclado)				
Criterio	Mezcla asfáltica PATRÓN (0%PEAD)	Mezcla asfáltica Modificada (0.5%PEAD)	VARIACIÓN	Variación Porcentual (%) (Respecto a la mezcla asfáltica PATRÓN)

%Cemento asfáltico	7	6.8	-0.2	Disminuye el cemento asfáltico	2.9
Estabilidad (KN)	10.3	14.7	4.4	Aumenta la Estabilidad	42.7
Flujo (0.25mm)	21.3	17.8	-3.5	Disminuye el flujo	16.4
Densidad (g/cm3)	2.335	2.337	0.002	No hay variación significativa	0.1
% de vacíos	4.5	4	-0.5	Disminuye el % de vacíos	11.1
% VMA	20.3	19.4	-0.9	Disminuye el VMA	4.4
% VFA	78	79.6	1.6	Aumenta el VFA	2.1

Comparando la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 0.5% de PEAD reciclado, se evidencia una ligera disminución en el porcentaje de cemento asfáltico; un aumento en el valor de la estabilidad, lo que se transmite en mayor capacidad para resistir desplazamientos y deformación; y una disminución en el flujo, por lo que el potencial de deformación permanente también disminuirá. En cuanto a las otras propiedades prácticamente se mantienen constantes y cumplen con las especificaciones técnicas generales para la construcción.

### 6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para determinar los precios unitarios de producción de la mezcla asfáltica patrón y de la mezcla asfáltica con incorporación de 0.5% de PEAD reciclado, se toma en cuenta la dosificación de acuerdo al diseño Marshall.

En el caso de la mezcla asfáltica patrón, el contenido óptimo de cemento asfáltico fue 7.0%. En la Tabla N° 68, se muestran los porcentajes en peso de cada material respecto de la mezcla de acuerdo al contenido óptimo de cemento asfáltico.

Tabla N° 68: Porcentajes en peso de los componentes de la mezcla patrón

Descripción	Cant.	Und.
Cemento asfáltico	7.00	%
Grava	32.55	%
Arena	60.45	%
Total	100.00	%

Considerando 1820kg/m<sup>3</sup> el peso unitario suelto de la mezcla asfáltica patrón, y aplicando la siguiente relación:  $P_{mat} = (\%mat) * (P.U.Sm) * (1m^3)$ , se obtiene las cantidades por m<sup>3</sup> de mezcla mostradas en la Tabla N° 69.

Dónde:

$P_{mat}$  = Peso del material en kg.

$\%mat$  = Porcentaje en peso del material respecto del total.

P.U.S.m = Peso unitario suelto de la mezcla asfáltica.

Tabla N° 69: Cantidades de cada componente por cada m<sup>3</sup> de mezcla patrón

Descripción	Cant.	Und.	P.U.S.	Und.	Cant.	Und.
Cemento asfáltico	127.38	kg	1024	kg/m <sup>3</sup>	32.863	Gal
Grava	592.42	kg	1540	kg/m <sup>3</sup>	0.385	m <sup>3</sup>
Arena	1100.20	kg	1510	kg/m <sup>3</sup>	0.729	m <sup>3</sup>

Por otro lado, el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado fue de 6.8%. En la Tabla N° 70, se muestran los porcentajes en peso de cada material respecto de la mezcla de acuerdo al contenido óptimo de cemento asfáltico.

Tabla N° 70: Porcentajes en peso de los componentes de la mezcla con 0.5% de PEAD

Descripción	Cant	Und
Cemento asfáltico	6.80	%
Grava	32.62	%
Arena	60.12	%
PEAD reciclado	0.47	%
Total	100.00	%

Las cantidades por m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado, se calculan de manera análoga a las cantidades de la mezcla asfáltica patrón, y esta se muestra en la Tabla N° 71.

Tabla N° 71: Cantidades de cada componente por cada m<sup>3</sup> de mezcla con 0.5% de PEAD.

Descripción	Cant.	Und.	P.U.S.	Und.	Cant.	Und.
<b>Cemento asfáltico</b>	123.76	kg	1024	kg/m <sup>3</sup>	31.928	Gal
<b>Grava</b>	593.70	kg	1540	kg/m <sup>3</sup>	0.386	m <sup>3</sup>
<b>Arena</b>	1094.11	kg	1510	kg/m <sup>3</sup>	0.725	m <sup>3</sup>

La cantidad en kg de PEAD reciclado (0.5%) por m3 de mezcla, sería:

$$\text{Peso PEAD por m3 (kg)} = (593.7+1094.11)*0.5\% = 8.439 \text{ kg.}$$

Luego de calcular las cantidades de los materiales para la elaboración de 1m3 de mezcla asfáltica en caliente, se realiza un análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica patrón, mostrado en la Tabla N° 72, y la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado, mostrado en la Tabla N°73.

Tabla N° 72: Análisis del precio unitario de la mezcla asfáltica patrón

APU - MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (PATRÓN)						
<b>Rendimiento</b>	300.000	m3/DIA	<b>Costo unitario directo por : m3</b>		<b>S/ 232.33</b>	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ	HH	1.00	0.0333	S/ 39.37	S/ 1.31	
OFICIAL	HH	2.00	0.0667	S/ 27.43	S/ 1.83	
PEON	HH	3.00	0.1000	S/ 19.93	S/ 1.99	
OPERARIO	HH	4.00	0.1333	S/ 31.49	S/ 4.20	
					<b>S/ 9.33</b>	
<b>Materiales</b>						
<b>Componentes de la mezcla asfáltica:</b>						
AGREGADO FINO	M3		0.7290	S/ 30.50	S/ 22.23	
AGREGADO GRUESO	M3		0.3850	S/ 37.50	S/ 14.44	
CEMENTO ASFÁLTICO	GLN		32.8630	S/ 3.86	S/ 126.85	
<b>Combustible:</b>						
PETRÓLEO D2	GLN		0.3000	S/ 7.95	S/ 2.39	
PETRÓLEO RESIDUAL 6	GLN		2.8000	S/ 5.33	S/ 14.92	
					<b>S/ 180.83</b>	
<b>Equipos</b>						
GRUPO ELECTRÓGENO 70KW	HM	1.00	0.0333	S/ 80.96	S/ 2.70	
GRUPO ELECTRÓGENO 545KW	HM	1.00	0.0333	S/ 237.27	S/ 7.91	
CARGADOR FRONTAL 966H	HM	1.00	0.0333	S/ 281.88	S/ 9.40	
PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 140TON/H	HM	1.00	0.0333	S/ 664.80	S/ 22.16	
					<b>S/ 42.16</b>	

Tabla N° 73: Análisis del precio unitario de la mezcla asfáltica con 0.5% de PEAD reciclado

APU - MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (con 0.5% de PEAD reciclado)						
<b>Rendimiento</b>	300.000	m3/DIA	<b>Costo unitario directo por : m3</b>		S/ 232.85	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ	HH	1.00	0.0333	S/ 39.37	S/ 1.31	
OFICIAL	HH	2.00	0.0667	S/ 27.43	S/ 1.83	
PEON	HH	3.00	0.1000	S/ 19.93	S/ 1.99	
OPERARIO	HH	4.00	0.1333	S/ 31.49	S/ 4.20	
					<b>S/ 9.33</b>	
<b>Materiales</b>						
<b>Componentes de la mezcla asfáltica:</b>						
AGREGADO FINO	M3		0.7250	S/ 30.50	S/ 22.11	
AGREGADO GRUESO	M3		0.3860	S/ 37.50	S/ 14.48	
CEMENTO ASFÁLTICO	GLN		31.9280	S/ 3.86	S/ 123.24	
PEAD RECICLADO	KG		8.4390	S/ 0.50	S/ 4.22	
<b>Combustible:</b>						
PETRÓLEO D2	GLN		0.3000	S/ 7.95	S/ 2.39	
PETRÓLEO RESIDUAL 6	GLN		2.8000	S/ 5.33	S/ 14.92	
					<b>S/ 181.36</b>	
<b>Equipos</b>						
GRUPO ELECTRÓGENO 70KW	HM	1.00	0.0333	S/ 80.96	S/ 2.70	
GRUPO ELECTRÓGENO 545KW	HM	1.00	0.0333	S/ 237.27	S/ 7.91	
CARGADOR FRONTAL 966H	HM	1.00	0.0333	S/ 281.88	S/ 9.40	
PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 140TON/H	HM	1.00	0.0333	S/ 664.80	S/ 22.16	
					<b>S/ 42.16</b>	

Comparando ambos precios unitarios, se puede notar que no hay variación significativa.

#### 6.4. ANÁLISIS AMBIENTAL

Considerando un kilómetro de vía con una calzada con dos carriles de ancho 3.6m, y una carpeta asfáltica de 7.5cm de espesor, el volumen de mezcla asfáltica que se requiere sería:

$$\text{Volumen mezcla asfáltica por km} = 0.075 * 7.2 * 1000 = 540 \text{ m}^3$$

Se sabe que por cada m3 de mezcla asfáltica se requiere 8.463kg de PEAD reciclado, por lo tanto, en 540m3 se necesitaría:  $8.463 * 540 = 4570.02 \text{ kg} = 4.5$  toneladas. Por lo que, por cada km de vía, se le estaría dando un uso a 4.5 toneladas de PEAD reciclado.

**CONCLUSIONES**

1. Se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla patrón es de 7.0%, frente a un porcentaje óptimo de asfalto de 6.8% para la mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 0.5% de PEAD reciclado.
2. Se determinó las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica patrón y fueron comparadas con el óptimo diseño que incorpora 0.5% de PEAD reciclado, los mismo que se muestran en la Tabla N° 67:

<b>Comparación de la mezcla asfáltica modificada (0.5% PEAD reciclado) y mezcla asfáltica PATRÓN (0% PEAD reciclado)</b>					
<b>Criterio</b>	<b>Mezcla asfáltica PATRÓN (0%PEAD)</b>	<b>Mezcla asfáltica Modificada (0.5%PEAD)</b>	<b>VARIACIÓN</b>	<b>Variación Porcentual (%) (Respecto a la mezcla asfáltica PATRÓN)</b>	
%Cemento asfáltico	7	6.8	-0.2	Disminuye el cemento asfáltico	2.9
Estabilidad (KN)	10.3	14.7	4.4	Aumenta la Estabilidad	42.7
Flujo (0.25mm)	21.3	17.8	-3.5	Disminuye el flujo	16.4
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.335	2.337	0.002	No hay variación significativa	0.1
% de vacíos	4.5	4	-0.5	Disminuye el % de vacíos	11.1
% VMA	20.3	19.4	-0.9	Disminuye el VMA	4.4
% VFA	78	79.6	1.6	Aumenta el VFA	2.1

3. La estabilidad y el flujo del diseño con incorporación de 0.5% de PEAD reciclado, presentaron un aumento del 42.70% y disminución del 16.40% respectivamente frente al diseño de mezcla patrón, tal como se muestra en la Tabla N° 67. Estos resultados pueden ser indicadores de que la mezcla con incorporación 0.5% de PEAD reciclado, presentará una mejor resistencia y menor deformación ante las sollicitaciones de carga, por lo tanto, tendrá un mejor desempeño frente a la mezcla patrón.
4. Considerando un km de longitud de carretera con dos carriles de 3.60m y un espesor de 7.5cm, no existe una variación significativa en cuanto al costo de producción de la mezcla asfáltica con incorporación de 0.5% de PEAD

reciclado y el costo de producción de la mezcla asfáltica patrón, tal y como se puede observar en la sección 6.3 Análisis económico.

5. De acuerdo a la sección 6.4 Análisis ambiental, por cada m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica con incorporación de 0.5% de PEAD reciclado se requiere 4.5 toneladas de PEAD reciclado, cantidad que se le podría dar una alternativa de uso y dejar de impactar sobre el medio ambiente.
6. La mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 0.5% de PEAD reciclado, en comparación con la mezcla asfáltica patrón, presenta mayor estabilidad, por lo que tendría una mayor capacidad para resistir desplazamientos y deformación; además presenta un menor valor en el flujo, por lo que disminuirá el potencial de deformación permanente.
7. Se sabe que la estabilidad depende de la fricción interna de las partículas de los agregados y de la cohesión que el ligante le asigna, sin embargo, la naturaleza de los agregados en ambas mezclas (patrón y 0.5% PEAD reciclado) es la misma, por lo que se concluye que el PEAD reciclado mejora la cohesión del ligante, en consecuencia, presenta un aumento en la estabilidad de la mezcla.
8. En concordancia con los puntos anteriores, se infiere que la mezcla asfáltica con incorporación por vía seca de 0.5% de PEAD reciclado, tiene justificación técnica, económica y ambiental.
9. El porcentaje de vacíos que se obtuvo del diseño con incorporación de 0.5% de PEAD reciclado, es de 4.0% frente a un valor de 4.5% de la mezcla patrón, lo que trae como consecuencia una disminución en el empleo de cemento asfáltico.
10. De la Tabla N° 67, las propiedades volumétricas tales como la densidad, VFA y VMA, no presentan una variación sustancial entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica con incorporación de 0.5% de PEAD reciclado.
11. De acuerdo con los resultados de laboratorio para determinar la calidad de los agregados para su uso en mezcla asfáltica caliente, se puede establecer que estos cumplen con las especificaciones técnicas generales para la construcción (EG-2013) del Ministerios de Transportes y Comunicaciones.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar diseños de mezcla asfáltica con materiales de diferentes canteras a fin de estudiar la influencia de estos en las propiedades de la mezcla asfáltica.
2. Resulta importante trabajar en lo posible con una curva granulométrica de la combinación de los agregados que se encuentre intermedia al límite superior e inferior del huso granulométrico, de lo contrario la mezcla asfáltica podría tener un mayor contenido de asfalto y finalmente valores de flujo por encima del rango.
3. Se recomienda extender el estudio empleando pruebas desempeño como las dadas por la metodología SUPERPAVE, puesto que representarían mejor el comportamiento de las mismas.
4. A pesar de la limitación económica que conlleva la elaboración de un tramo de prueba, es preciso llevarlo a cabo, porque es la única manera de corroborar su funcionalidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, Y., Delgado, H., Cuellar, V., & Salazar, A. (2019). *Manual de ensayos para laboratorio, agregados para mezclas asfálticas. Publicación Técnica N°551*. Querétaro, México.
- Ballena, C. J. (2016). Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío. *Tesis de pregrado*. Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- Beltrán, M., & Mancilla, A. (2012). Estructura y propiedades de los polímeros. En M. Beltrán, & A. Mancilla, *Tecnología de polímeros*. Alicante, España.
- Berrio, A. (2017). Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado con agregado constitutivo. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Calkins, M. (2009). Materials for sustainable sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials. En M. Calkins, *Materials for sustainable sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Corbacho, J. E. (2019). Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad de Cusco. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Envaselia*. (s.f.). Obtenido de <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J. A., Alonso, S., & Alarcón, H. A. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. Publicación Técnica N°246*. Querétaro, México.
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). *Características geomecánicas de la mezcla asfáltica. Publicación técnica N°267*. Querétaro, México.
- Góngora Pérez, J. P. (2014). La industria del plástico en México y en el mundo. *Comercio exterior*, 64(5), 6-9.
- Herencia, W. L. (2001). Modificación de asfaltos con polímeros. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Hermida, É. (2011). *Guía didáctica de polímeros*. Buenos Aires, Argentina: Industria Argentina.

- Hunter, R., Self, A., & Read, J. (2015). *The Shell Bitumen Handbook* (Sexta ed.). United Kindong: Thomas Telford.
- Instituto del Asfalto. (2001). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en Caliente (Serie de Manuales N° 22 MS-22)*. Estados Unidos de América.
- Jerez, M. (1 de Junio de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de Polietileno de alta densidad:  
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-alta-densidad.html>
- Joann A. Wess, L. O. (2004). *Asphalt (Bitumen)*. Ginebra: World Health Organization.
- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseños modernos de pavimentos asfálticos* (Segunda ed.). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos y Materiales*. Lima, Perú.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá, Colombia: Agora Editores.
- Nikolaides, A. (2014). *Highway Engineering: Pavements, materials and Control of Quality*. Florida, EE.UU.: CRC Press.
- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). *Pavement design and materials*. New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons.
- Paulina Leiva Padilla, L. G. (2015). *Simulación del ensayo Marshall mediante la metodología del elemento finito*. Costa Rica.
- Peacock, A. (2000). *Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Ribes, A., Vilaplana, F., & Contat, L. (2008). *Cuaderno Guía 1, Aspectos fundamentales de los polímeros, Degradación y reciclaje de plásticos*. Valencia, España: Editorial UPV.
- Rodriguez, E. M. (2012). Análisis de pavimentación (MDC-3) mejoradas con escorias (no ferrosas) de fundición de cobre (Ensayo Marshall INV-E-748-07). *Tesis de pregrado*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Romero, P., Huertas, G., & Cazar, J. (2015). Diseño y evaluación de mezclas asfálticas en caliente características de pavimentos flexibles o bituminosos con la adición de tereftalato de polietileno como material constitutivo. *Revista CIENCIA*, 17(1), 11-20.
- Rondón, H. A., & Reyes, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: MACRO.

- Silvestre, D. F. (2017). Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017. *Tesis de pregrado*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Ulloa Calderón, A. (2011). Mezclas asfálticas tibias (MAT). *Boletín del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)*, 2(15).
- Vila, M. (2016). Análisis de la influencia del uso de poliestireno reciclado como sustitutivo del betún en el comportamiento de hormigones bituminosos y mezclas porosas. *Tesis de posgrado*. Universidad de Cantabria, Santander, España.

## ANEXOS

- **ANEXO N° 1:** Registro de ensayos de laboratorio.
- **ANEXO N° 2:** Análisis de costos.
- **ANEXO N° 3:** Panel fotográfico.
- **ANEXO N° 4:** Certificados de laboratorio.

# ANEXOS

# **ANEXO 1: REGISTRO DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

# **ANEXO 1A: CALIDAD DE LOS AGREGADOS**

### Peso Específico y absorción de los agregados Gruesos (MTC E-206)

Peso Mat. Saturado y superficialmente seco (en aire) <b>A</b>	2549.4
Peso Mat. Saturado y superficialmente seco (sumergido) <b>B</b>	1622.6
Volumen de la masa + Volumen de vacíos <b>C=(A-B)</b>	926.8
Peso de material seco <b>D</b>	2527.6
Volumen de la masa <b>E=C-(A-D)</b>	905
Peso Específico Bulk (Base Seca) <b>D/C</b>	2.727
Peso Específico Bulk (Base Saturada) <b>A/C</b>	2.751
Peso Aparente (Base Seca) <b>D/E</b>	2.793
Absorción (%)	0.86%

### Gravedad Específica y absorción de los agregados Finos (MTC E-205)

Peso de fiola (Calibrada con agua) <b>A</b>	659.2
Peso de fiola (Calibrada con agua) + Peso material <b>B</b>	959.2
Peso de material S.S.S.	300
Peso fiola + agua + material s.s.s. (extraído el aire) <b>C</b>	849.6
Volumen de la masa + volumen de vacíos <b>D=(B-C)</b>	109.6
Peso de material seco <b>E</b>	298.6
Volumen de la masa <b>F=D-(Peso de material S.S.S. - E)</b>	108.200
Peso Específico Bulk (Base Seca) <b>E/D</b>	2.724
Peso Específico Bulk (Base Saturada) <b>Mat S.S.S / D</b>	2.737
Peso aparente (Base seca) <b>E/F</b>	2.760
Absorción (%)	0.47%

**DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESO Y/O FINO POR MEDIO DEL SULFATO DE MAGNESIO (MTC E-209)**

Tamaño de tamices		Nº Recipiente	Peso antes del ensayo	Peso despues del ensayo	% pérdida despues del ensayo	Escalonada Original	Porcentaje de Pérdidas corregidas
Pasa	Retiene						
50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")						
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")						
25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")						
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	USA - 146	670.5	543.2	18.99	6	1.14
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	NEW - 4	332.0	263.3	20.69	18	3.72
9.5 mm (3/8")	4.75 mm (Nº4)	USA - 043	300.6	272.1	9.48	41	3.89
TOTALES			1303.1	1078.6		65	8.75

	<b>% DE PÉRDIDA</b>
	<b>13.5%</b>

**ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑO MENORES  
 DE 37.5mm (1 1/2") (MTC E-207)**

TAMAÑO MALLA	GRADUACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2" - 1"				
1" - 3/4"				
3/4" - 1/2"		2500.0		
1/2" - 3/8"		2500.0		
PESO TOTAL		5000.0		
MATERIAL RETENIDO TAMIZ Nº 12		4175.4		
MATERIAL PASANTE TAMIZ Nº 12		824.6		
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)		16.5		

% DE DESGASTE	16.5%
---------------	-------

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)		
	Pasante Malla Nº 40	Pasante Malla Nº 200
Nº TARRO	P1	P2
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	27.25	24.78
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	24.90	22.30
PESO DE AGUA (g)	2.35	2.48
PESO DEL TARRO (g)	11.81	11.95
PESO DEL SUELO SECO (g)	13.09	10.35
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	17.95	23.96
NUMERO DE GOLPES (N)	20	28
LÍMITE LÍQUIDO (%)	17.00	24.00

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.) (MTC E 111)		
Nº TARRO		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		
PESO DE AGUA (g)		
PESO DEL TARRO (g)		
PESO DEL SUELO SECO (g)		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		
LÍMITE PLÁSTICO (%)		

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		
LÍMITE LÍQUIDO	Nº40	Nº200
	17.0	24.0
LÍMITE PLÁSTICO	NP	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	NP	NP

**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y  
AGREGADO FINO (MTC E-114)**

N° DE ENSAYOS	1	2	3
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	< N° 4	< N° 4	< N° 4
Hora de entrada a saturación	02:39	02:41	02:43
Hora de salida de saturación (mas 10")	02:49	02:51	02:53
Hora de entrada a decantación	02:51	02:53	02:55
Hora de salida de decantación (mas 20")	03:11	03:13	03:15
Altura máxima de material fino	5.4	5.5	5.6
Altura máxima de la arena	3.6	3.6	3.6
Equivalente de Arena (%)	67.0	65.0	64.0
PROMEDIO (%)	<b>65.0</b>		

**EQUIVALENTE DE ARENA**      **65.0%**

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

DESCRIPCIÓN	Peso Total Retenido en Mallas (A)	Peso Muestra (B)		% Caras Fracturas (C)		Escala Original (D)	% Parciales Caras Fracturas (E)	
		1 a más	2 a más	1 a más	2 a más		1 a más	2 a más
2"								
1 1/2"								
1"								
3/4"	131.3	118.6	101.4	90.33	77.23	6	5.42	4.63
1/2"	291.3	258.4	225.9	88.71	77.55	18	15.97	13.96
TOTALES	422.6	377	327.3	179.03	154.78	24	21.39	18.59

% CARAS DE FRACTURAS 1 A MÁS	89.1%
% CARAS DE FRACTURAS 2 A MÁS	77.5%

**PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS (MTC E-223)**

DESCRIPCIÓN		Peso Total Retenido en Mallas (A)	Peso Muestra Chatas y Alargadas (B)	% de Chatas y Alargadas (C)	Escala Original (D)	% Parciales de Chatas y Alargadas (E)
MALLA SERIE AMERICANA						
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	131.3	20.7	15.77	6	0.9462
1/2"	3/8"	291.3	22.1	7.59	18	1.3662
TOTALES		422.6	42.8	23.36	24	2.3124

**% DE CHATAS Y ALARGADAS: 9.64%**

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR CUALITATIVAMENTE LAS IMPUREZAS ORGANICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO (MTC E-213)**

**EQUIPO**

**COLOR GARDNER STANDARD - No 815 TESTER**

La tabla de colores estándar del aparato es utilizada en lugar de las soluciones de color estándar y elimina la necesidad de preparar una nueva solución para cada prueba.

PESO MUESTRA:  g      SOLUCION NaOH (3%):  ml  
 FECHA PREPARACION:       HORA:   
 FECHA LECTURA:       HORA:

**P R U E B A**

TABLA DE COLORES ESTANDAR		RESULTADO DE LA PRUEBA		
		COLOR DEL LIQUIDO DE LA MUESTRA	INTERPRETACION	CONCLUSION
	<b>X</b>	POCO O NINGUN CONTENIDO DE COMPONENTE ORGANICO DANIÑO	APROBADO PARA USO	
		CONTENIDO DE COMPONENTE ORGANICO ACEPTABLE		
		POSIBILIDAD DE CONTENIDO DE COMPONENTE ORGANICO DANIÑO	ADVERTENCIA! NECESITA DE OTRAS PRUEBAS DE VERIFICACION	

OBSERVACIONES

EXCENTO DE IMPUREZAS ORGANICAS.

# **ANEXO 1B:**

## **CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

ENSAYOS	NORMA		UNIDADES	Especificaciones		Resultado de Laboratorio	Calificación
	ASTM	MTC		Mínimo	Máximo		
Penetración (5s, 25 °C)	D-5	MTC E 304	dmm	60	70	69	Cumple
Punto de Inflamación	D-92	MTC E 303	°C	232	-	307	Cumple
Gravedad Específica (15.6/15.6 °C)	D-70	MTC E 318		Reportar		1.024	-
Ductibilidad (5cm/min, 25°C)	D-113	MTC E 306	cm	100	-	>105	Cumple
Solubilidad en Tricloroetileno	D-2042	MTC E 302	%	99	-	99.91	Cumple
<b>Efecto de Calor y aire (Película Fina)</b>	D-1754	MTC E 315					
Pérdida por calentamiento	D-1754	-	%		0.8	0.17	Cumple
Penetración retenida	D-5	MTC E 304		52		76.8	Cumple
Ductibilidad	D-113	MTC E 306	cm	50		106.9	Cumple
<b>INDICE DE PENETRACIÓN</b>	(*) Francés RLB	MTC E 304		-1	1	-0.2	Cumple
<b>FLUIDEZ</b>							
Viscosidad Cinemática (100°C)	D-2170	MTC E 310	cSt	Reportar		4900.0	-
Viscosidad Cinemática (135°C)	D-2170	MTC E 310	cSt	200	-	500.0	Cumple
<b>Adherencia</b>	D-3625						
Revestimiento y desprendimiento	D-3625		%			>95	Cumple

# **ANEXO 1C: CALIDAD DEL PEAD RECICLADO**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	PEAD RECICLADO			
	ABERTURA (mm)	Peso Ret	% Ret	% Ret Ac	% Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
Nº 4	4.760				
Nº 6	3.360				
Nº 8	2.380				
Nº 10	2.000				100.0
Nº16	1.190	323.5	68.1	68.1	31.9
Nº 20	0.840	70.5	14.8	82.9	17.1
Nº 30	0.590	51.3	10.8	93.7	6.3
Nº 40	0.426	18.0	3.8	97.5	2.5
Nº 50	0.297	5.6	1.2	98.7	1.3
Nº 80	0.177	4.3	0.9	99.6	0.4
Nº 100	0.149	1.2	0.3	99.9	0.1
Nº 200	0.074	0.7	0.1	100.0	0.0
-200	-				

# **ANEXO 1D: ENSAYOS MARSHALL**

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (> N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.3			
3	%DE AGREGADO FINO (< N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.8			
4	%DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) RECICLADO				
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	-.-			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.58	6.57	6.56	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1211.40	1208.40	1208.40	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1213.00	1209.60	1209.80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	679.40	676.80	677.60	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.6	1.2	1.4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	533.6	532.8	532.2	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.30	0.23	0.26	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.270	2.268	2.271	2.270
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.549			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	10.9	11.0	10.9	11.0
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.725			
20	V.M.A. (%)	20.9	20.9	20.8	20.9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	47.7	47.3	47.5	47.5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.766			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.55			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.45			
25	FLUJO (mm)	4.6	4.3	4.3	4.4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	984.6	932.9	871.8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	945.0	896.0	837.0	893.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2066.9	2075.0	1938.4	2027.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.1			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.4			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	-.-			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.40	6.55	6.64	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1215.00	1214.80	1204.80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1215.80	1217.40	1206.50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	697.20	686.40	668.40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.8	2.6	1.7	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	518.6	531.0	538.1	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.15	0.49	0.32	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.343	2.288	2.239	2.290
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.522			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	7.1	9.3	11.2	9.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.725			
20	V.M.A. (%)	18.8	20.7	22.4	20.6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	62.2	55.1	49.9	55.7
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.757			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.43			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.07			
25	FLUJO (mm)	5.0	5.6	4.3	5.0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1026.9	956.4	965.8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	0.96	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1027.0	918.0	898.0	948.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2073.5	1642.8	2079.7	1932.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA CANTIDAD** : Agregados, asfalto y aditivo : 300 - 350 kg.

**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		6.0		
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		32.9		
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA		61.1		
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA		0.0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1.024		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')		2.727		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2.724		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		-,-		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.32	6.51	6.70	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1221.20	1211.60	1218.80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1221.40	1213.30	1219.50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	709.40	685.80	676.40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.2	1.7	0.7	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	512.0	527.5	543.1	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.04	0.32	0.13	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.385	2.297	2.244	2.309
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2.479		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	3.8	7.4	9.5	6.9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2.725		
20	V.M.A. (%)	17.7	20.8	22.6	20.4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	78.6	64.7	58.1	67.1
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2.726		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0.02		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		5.98		
25	FLUJO (mm)	5.1	5.3	5.1	5.2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1120.9	1036.3	1088.0	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	0.96	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1121.0	995.0	1012.0	1043.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2206.7	1865.4	1992.1	2021.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**CANTIDAD** : 300 - 350 kg.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.7			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.8			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1°)	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	-.-			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.51	6.50	6.45	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1222.60	1223.00	1224.20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1223.40	1224.60	1225.00	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	695.80	697.80	701.80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.8	1.6	0.8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	527.6	526.8	523.2	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.15	0.30	0.15	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.317	2.322	2.340	2.326
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.460			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5.8	5.6	4.9	5.4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.725			
20	V.M.A. (%)	20.5	20.3	19.7	20.2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	71.7	72.3	75.2	73.1
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.726			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.01			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.49			
25	FLUJO (mm)	5.6	5.3	5.3	5.4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1041.0	1168.0	1120.9	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	999.0	1121.0	1076.0	1065.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	1787.8	2101.6	2017.2	1969.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

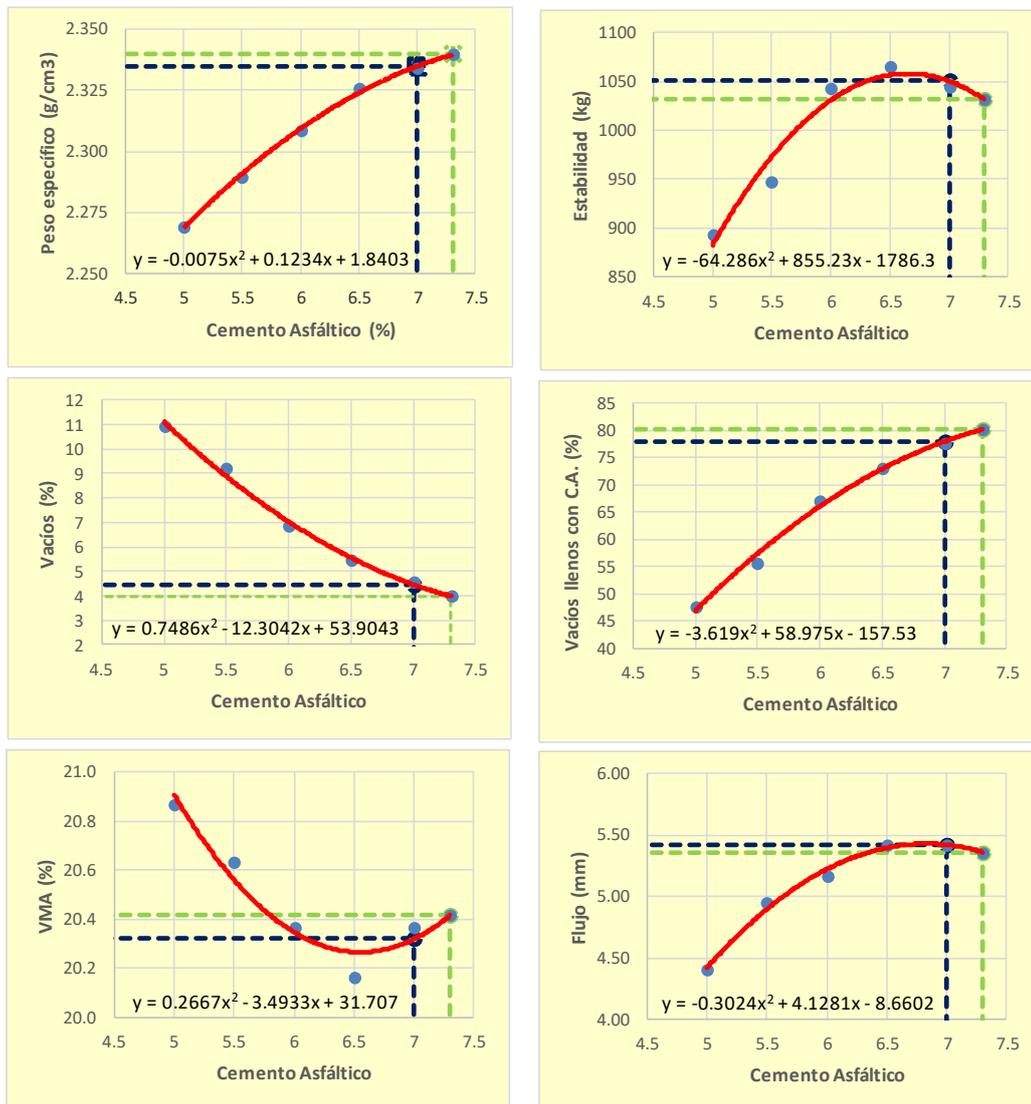
N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.6			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.5			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	-0.1			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	-.-			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.48	6.49	6.51	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1226.60	1229.20	1229.80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1227.40	1229.60	1230.10	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	701.80	703.50	702.70	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.8	0.4	0.3	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	525.6	526.1	527.4	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.15	0.08	0.06	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.334	2.336	2.332	2.334
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.445			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4.6	4.4	4.6	4.5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.725			
20	V.M.A. (%)	20.4	20.3	20.4	20.4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	77.7	78.1	77.3	77.7
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.730			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.07			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.93			
25	FLUJO (mm)	5.3	5.3	5.6	5.4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1088.0	1102.1	1073.9	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1044.0	1058.0	1031.0	1044.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	1957.3	1983.5	1845.0	1929.0

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**

**ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**



## REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**CANTIDAD** : 300 - 350 kg.

**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

#### Características de la Mezcla :

- Nº de golpes por cara	:			75		
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	6.8	7.0		7.2	
- Peso Especifico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2.331	2.335		2.338	
- Vacíos, %	:	4.8	4.5		4.1	
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	:	76.2	78.0		79.5	
- V.M.A., %	:	20.3	20.3		20.4	
- Estabilidad, kg (kN)	:	1056.6	(10.362)	1050.3	(10.300)	1038.7 (10.186)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	5.4	(21.4)	5.4	(21.3)	5.4 (21.2)
- Absorción de Asfalto, %	:					
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	1946.0	(5.0)	1938.0	(5.0)	1928.0 (5.0)
- Estabilidad Retenida, %	:			97.7		
- Índice de Compactabilidad	:			5.0		
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145		

#### Proporciones de mezcla :

(1) Agregado grueso, % **	:	35.0
(2) Agregado fino, % **	:	65.0
(3) PEAD, % **	:	-.
(4) Aditivo, % ***	:	-.

#### Materiales :

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

#### Nota :

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total  
(\*\*) Porcentaje en peso de los agregados  
(\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D-6927 (2004) USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.3			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.3			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.56	6.56	6.56	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1203.60	1211.20	1207.40	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1205.00	1212.20	1208.60	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	673.00	680.60	676.80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.4	1.0	1.2	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	532.0	531.6	531.8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.26	0.19	0.23	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.262	2.278	2.270	2.270
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.558			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	11.6	10.9	11.2	11.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.704			
20	V.M.A. (%)	20.5	20.0	20.2	20.2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	43.6	45.4	44.4	44.5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.777			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.99			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.01			
25	FLUJO (mm)	3.8	4.1	4.1	4.0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1177.4	1191.5	1191.5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1130.0	1144.0	1144.0	1139.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2965.9	2815.0	2815.0	2865.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.1			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.0			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.67	6.45	6.54	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1212.40	1211.80	1212.00	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1213.90	1212.90	1212.80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	673.40	690.00	682.60	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.5	1.1	0.8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	540.5	522.9	530.2	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.28	0.21	0.15	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.243	2.317	2.286	2.282
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.523			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	11.1	8.2	9.4	9.5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.704			
20	V.M.A. (%)	21.6	19.0	20.1	20.2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	48.7	57.1	53.2	53.0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.758			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.74			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.76			
25	FLUJO (mm)	4.1	4.1	4.3	4.1
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1332.8	1309.2	1332.8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.93	1.00	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1239.0	1309.0	1279.0	1276.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3048.7	3221.0	2962.0	3077.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

ASTM D-6927 (2004)

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.9			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.6			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.5			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.43	6.59	6.61	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1222.00	1221.00	1222.00	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1222.60	1221.80	1222.80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	701.00	687.40	687.20	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.6	0.8	0.8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	521.6	534.4	535.6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.12	0.15	0.15	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.343	2.285	2.282	2.303
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.489			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5.9	8.2	8.3	7.5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.698			
20	V.M.A. (%)	18.4	20.4	20.5	19.8
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	68.1	59.8	59.4	62.4
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.739			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.57			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.43			
25	FLUJO (mm)	4.1	4.3	4.6	4.3
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1474.1	1427.0	1403.4	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1474.0	1370.0	1347.0	1397.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3627.0	3172.8	2946.2	3249.0

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

**ASTM D-6927 (2004)**

	N° DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.7			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.3			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.5			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1°)	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.54	6.46	6.54	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1231.20	1228.20	1229.80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1231.80	1228.80	1230.40	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	701.20	705.00	700.00	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.6	0.6	0.6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	530.6	523.8	530.4	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.11	0.11	0.11	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.320	2.345	2.319	2.328
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.441			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4.9	3.9	5.0	4.6
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.698			
20	V.M.A. (%)	19.6	18.7	19.6	19.3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	74.8	78.9	74.4	76.0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.701			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.04			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.46			
25	FLUJO (mm)	4.3	4.6	4.3	4.4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1464.7	1757.2	1464.7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1406.0	1687.0	1406.0	1500.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3256.1	3689.9	3256.1	3401.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
TESIS DE GRADO : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
FECHA DE RECEPCIÓN : 01.03.2019 FECHA DE ENSAYO : MARZO - ABRIL 2019.

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

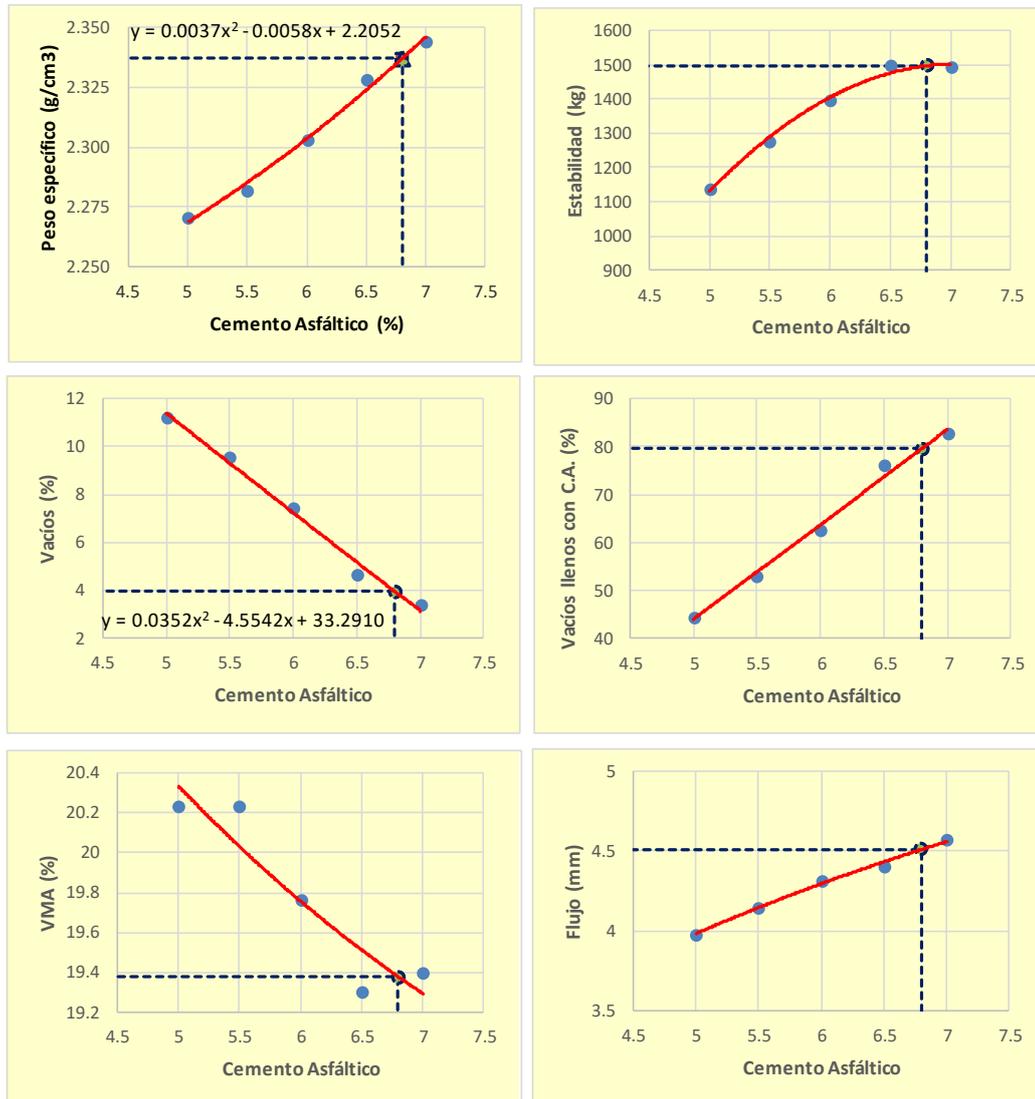
ASTM D-6927 (2004)

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.6			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.0			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.51	6.49	6.48	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1238.00	1231.00	1230.60	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1238.40	1231.40	1231.20	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	711.00	705.60	706.20	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.4	0.4	0.6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	527.4	525.8	525.0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.08	0.08	0.11	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.347	2.341	2.344	2.344
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.426			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	3.2	3.5	3.4	3.4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.704			
20	V.M.A. (%)	19.3	19.5	19.4	19.4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	83.2	82.1	82.6	82.6
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.705			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.01			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.99			
25	FLUJO (mm)	4.6	4.6	4.6	4.6
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1488.3	1615.6	1559.0	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1429.0	1551.0	1497.0	1492.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3125.5	3392.4	3274.3	3264.0

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

<b>SOLICITANTE</b>	: ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN	<b>MUESTRA</b>	: Agregados, asfalto y aditivo
	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA	<b>CANTIDAD</b>	: 300 - 350 kg.
<b>TESIS DE GRADO</b>	: MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA		
	INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO		
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 01.03.2019	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**



## REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

#### Características de la Mezcla :

- Nº de golpes por cara	:			75		
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	6.6	6.8	7.0		
- Peso Especifico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2.328	2.337	2.346		
- Vacios, %	:	4.8	4.0	3.1		
- Vacios llenos con Cemento Asfáltico, %	:	75.6	79.6	83.6		
- V.M.A., %	:	19.5	19.4	19.3		
- Estabilidad, kg (kN)	:	1484.7	(14.560) <span style="color: green;">▲</span>	1497.3	(14.683) <span style="color: green;">▲</span>	1502.8 (14.737)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	4.5	(17.6) <span style="color: green;">▲</span>	4.5	(17.8) <span style="color: green;">▲</span>	4.6 (18.0)
- Absorción de Asfalto, %	:					
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	3329.0 <span style="color: green;">▲</span>	(8.0)	3319.0 <span style="color: green;">▲</span>	(8.0)	3296.0 (8.0)
- Estabilidad Retenida, %	:			97.7		
- Índice de Compactabilidad	:			5.0		
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145		

#### Proporciones de mezcla :

(1) Agregado grueso, % **	:	35.0
(2) Agregado fino, % **	:	64.5
(3) PEAD, % **	:	0.5
(4) Aditivo, % ***	:	-,-

#### Materiales :

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

#### Nota :

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.4			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	61.1			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.56	6.59	6.57	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1202.20	1206.90	1200.80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1204.00	1208.70	1202.40	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	671.80	674.60	669.40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.8	1.8	1.6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	532.2	534.1	533.0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.34	0.34	0.30	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.259	2.260	2.253	2.257
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.502			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	9.7	9.7	10.0	9.8
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.673			
20	V.M.A. (%)	19.3	19.3	19.5	19.4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	49.6	49.8	48.9	49.4
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.685			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.17			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.33			
25	FLUJO (mm)	4.1	4.6	4.6	4.4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1379.9	1427.0	1356.3	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1325.0	1370.0	1302.0	1332.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3260.3	2996.5	2847.8	3035.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.3			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.8			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.9			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1°)	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.54	6.56	6.57	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1205.30	1210.10	1211.60	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1207.20	1212.10	1213.50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	676.60	680.40	681.20	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.9	2.0	1.9	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	530.6	531.7	532.3	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.36	0.38	0.36	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.272	2.276	2.276	2.275
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.481			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	8.4	8.3	8.3	8.3
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.678			
20	V.M.A. (%)	19.4	19.3	19.3	19.3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	56.5	57.2	57.2	57.0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.682			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.05			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.95			
25	FLUJO (mm)	5.1	4.8	5.1	5.0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1450.6	1474.1	1379.9	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1393.0	1415.0	1325.0	1378.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2742.1	2932.0	2608.3	2761.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.1			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.5			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.9			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.56	6.56	6.59	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1216.50	1215.60	1221.20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1217.20	1216.20	1221.80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	685.40	684.40	687.80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.7	0.6	0.6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	531.8	531.8	534.0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.13	0.11	0.11	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.288	2.286	2.287	2.287
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.465			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	7.2	7.3	7.2	7.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.678			
20	V.M.A. (%)	19.3	19.3	19.3	19.3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	62.7	62.3	62.5	62.5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.685			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.10			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.40			
25	FLUJO (mm)	5.3	5.1	5.1	5.2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1474.1	1450.6	1474.1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1415.0	1393.0	1415.0	1408.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2652.8	2742.1	2785.4	2727.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.9			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.2			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.9			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1°)	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.54	6.58	6.60	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1216.80	1222.10	1225.90	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1217.50	1222.70	1226.20	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	687.60	689.60	691.40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.7	0.6	0.3	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	529.9	533.1	534.8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.13	0.11	0.06	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.296	2.292	2.292	2.294
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.446			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	6.1	6.3	6.3	6.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.678			
20	V.M.A. (%)	19.4	19.5	19.5	19.5
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	68.5	67.8	67.7	68.0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.684			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.08			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.92			
25	FLUJO (mm)	5.6	5.1	5.3	5.3
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1474.1	1474.1	1474.1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1415.0	1415.0	1415.0	1415.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2532.2	2785.4	2652.8	2657.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

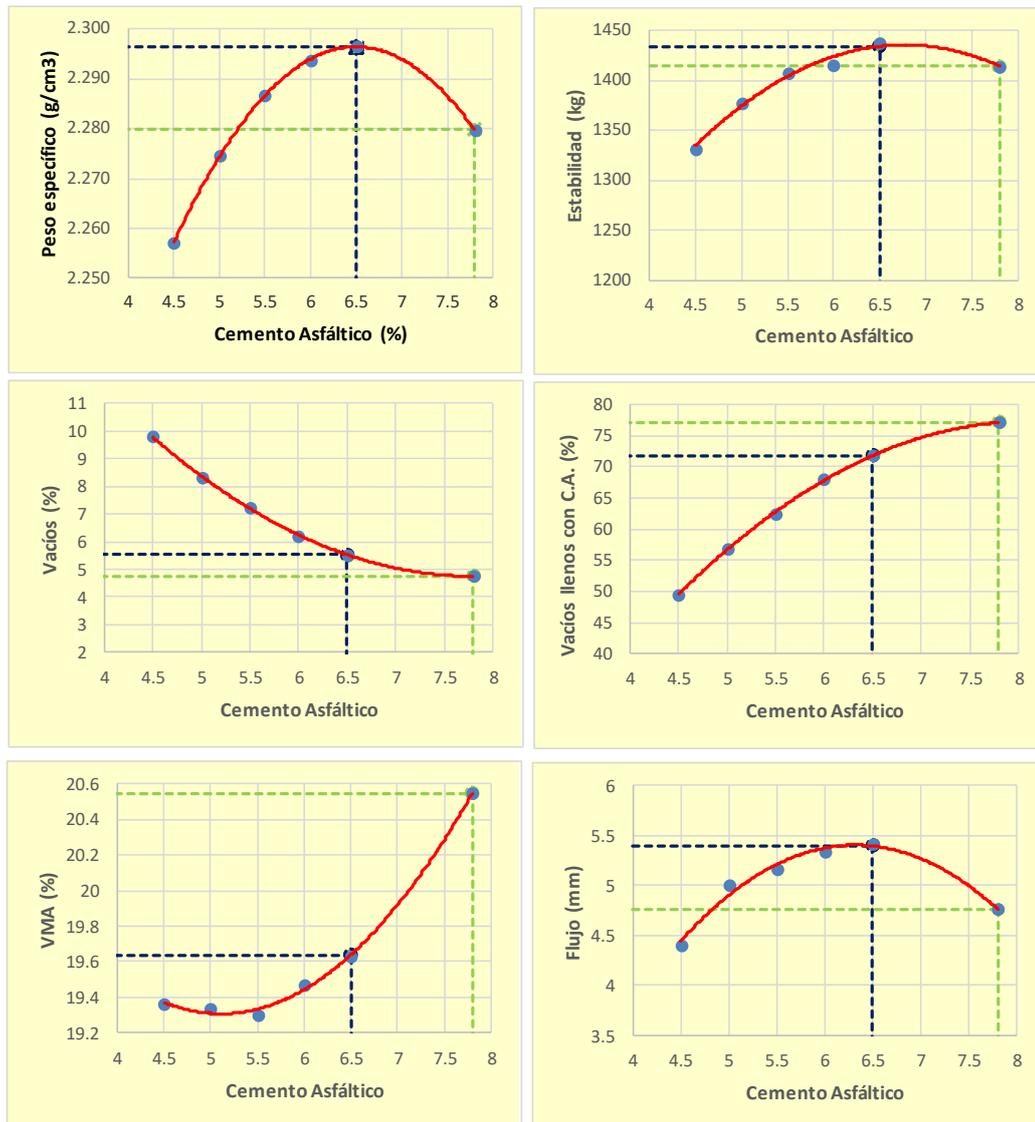
N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.7			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	59.8			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1°)	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.60	6.59	6.59	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1228.80	1227.00	1226.20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1229.40	1227.30	1226.90	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	694.50	693.40	692.40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.6	0.3	0.7	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	534.9	533.9	534.5	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.11	0.06	0.13	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.297	2.298	2.294	2.297
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.431			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5.5	5.5	5.6	5.5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.672			
20	V.M.A. (%)	19.6	19.6	19.7	19.6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	71.9	72.1	71.4	71.8
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.688			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.22			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.28			
25	FLUJO (mm)	5.3	5.6	5.3	5.4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1403.4	1497.7	1592.0	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.96	0.96	0.96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1347.0	1438.0	1528.0	1438.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2525.3	2573.4	2864.6	2654.0

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

<b>SOLICITANTE</b>	: ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN	<b>MUESTRA</b>	: Agregados, asfalto y aditivo
	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA	<b>CANTIDAD</b>	: 300 - 350 kg.
<b>TESIS DE GRADO</b>	: MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA		
	INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO		
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 01.03.2019	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**

**ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
 USANDO EL MÉTODO MARSHALL**



### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

**Características de la Mezcla :**

- Nº de golpes por cara	:					75
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	7.6	7.8			8.0
- Peso Específico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2.284	2.280			2.274
- Vacíos, %	:	4.8	4.7			4.8
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	:	76.8	77.1			77.3
- V.M.A., %	:	20.4	20.5			20.7
- Estabilidad, kg (kN)	:	1421.7 (13.942)	1414.3 (13.870)			1405.3 (13.782)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	4.9 (19.4)	4.8 (18.8)			4.6 (18.0)
- Absorción de Asfalto, %	:					
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	2887.0 (7.0)	2969.0 (7.0)			3069.0 (8.0)
- Estabilidad Retenida, %	:		97.7			
- Índice de Compactabilidad	:		5.0			
- Temperatura de la Mezcla, °C	:		140 - 145			

**Proporciones de mezcla :**

(1) Agregado grueso, % **	:	35.0
(2) Agregado fino, % **	:	64.0
(3) PEAD, % **	:	1.0
(4) Aditivo, % ***	:	--

**Materiales :**

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

**Nota :**

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.3			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.3			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.79	6.70	6.74	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1208.00	1206.60	1209.10	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1209.40	1208.00	1210.60	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	659.20	665.00	663.80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.4	1.4	1.5	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	550.2	543.0	546.8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.25	0.26	0.27	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.196	2.222	2.211	2.210
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.460			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	10.8	9.7	10.1	10.2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.653			
20	V.M.A. (%)	21.4	20.4	20.8	20.9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	49.8	52.6	51.4	51.3
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.656			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.04			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.96			
25	FLUJO (mm)	4.6	4.6	4.6	4.6
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1196.2	1200.9	1205.6	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89	0.93	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1065.0	1117.0	1121.0	1101.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2329.4	2443.1	2451.9	2408.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**EV ALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA**  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO**  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.1			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	60.0			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.70	6.76	6.73	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1215.60	1219.40	1214.90	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1216.90	1220.80	1215.30	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	673.40	672.60	669.40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.3	1.4	0.4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	543.5	548.2	545.9	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.24	0.26	0.07	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.237	2.224	2.225	2.229
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.451			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	8.8	9.3	9.2	9.1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.652			
20	V.M.A. (%)	20.3	20.7	20.7	20.6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	56.9	55.3	55.6	55.9
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.667			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.22			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.28			
25	FLUJO (mm)	4.8	4.8	4.8	4.8
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1238.6	1262.1	1262.1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.93	0.89	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1152.0	1123.0	1174.0	1150.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2387.1	2327.0	2432.7	2382.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**EV ALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA**  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO**  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.9			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	59.7			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.66	6.69	6.63	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1223.20	1224.20	1221.40	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1224.30	1225.30	1222.50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	684.60	682.80	684.60	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.1	1.1	1.1	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	539.7	542.5	537.9	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.20	0.20	0.20	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.266	2.257	2.271	2.265
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.438			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	7.0	7.4	6.9	7.1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.652			
20	V.M.A. (%)	19.7	20.0	19.5	19.7
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	64.3	62.8	64.8	64.0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.674			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.31			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.69			
25	FLUJO (mm)	4.8	4.6	5.3	4.9
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1285.7	1262.1	1285.7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.93	0.93	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1196.0	1174.0	1196.0	1189.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2478.2	2567.8	2242.2	2429.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.5			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.7			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	59.4			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.67	6.66	6.66	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1218.90	1231.90	1229.20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1219.60	1232.80	1230.40	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	679.00	693.20	690.80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.7	0.9	1.2	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	540.6	539.6	539.6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.13	0.17	0.22	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.255	2.283	2.278	2.272
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.414			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	6.6	5.4	5.6	5.9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.651			
20	V.M.A. (%)	20.5	19.5	19.7	19.9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	67.8	72.2	71.4	70.5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.666			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.21			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.29			
25	FLUJO (mm)	5.1	5.3	5.1	5.2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1299.8	1309.2	1299.8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.93	0.93	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1209.0	1218.0	1209.0	1212.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2379.9	2283.5	2379.9	2348.0

### REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

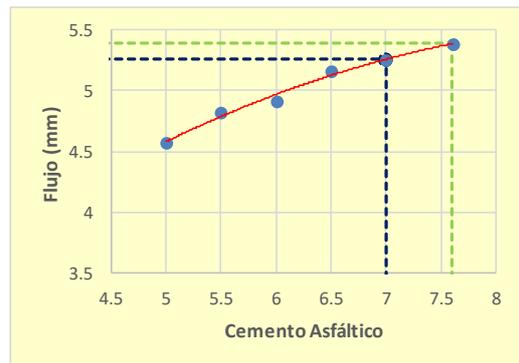
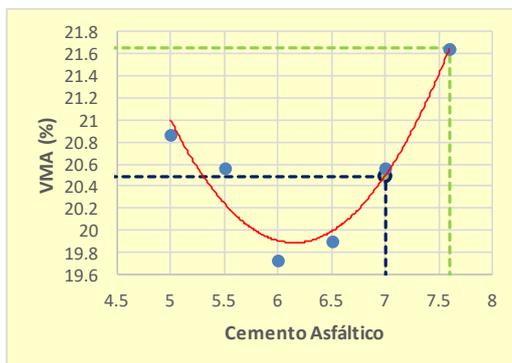
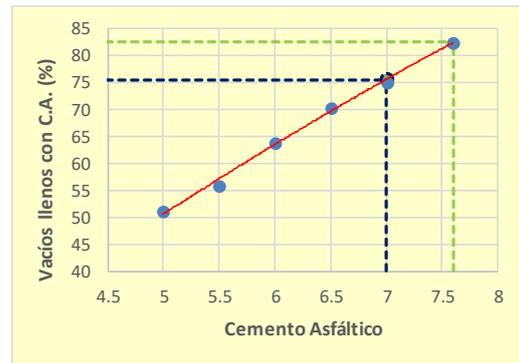
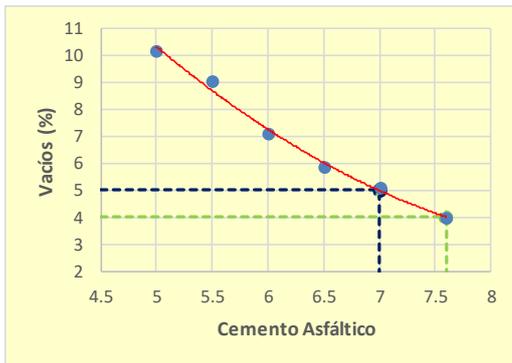
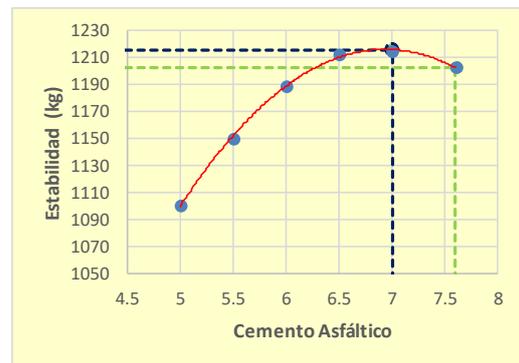
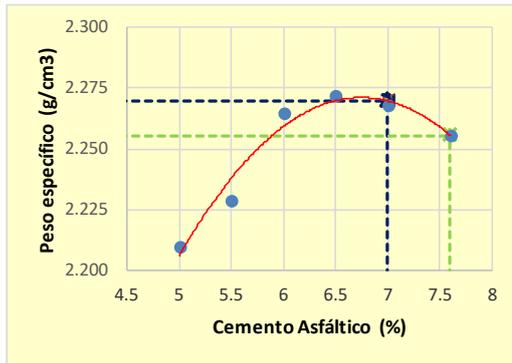
#### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

N° DE BRIQUETAS		1	2	3	PROMEDIO
1	%DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7.0			
2	%DE AGREGADO GRUESO (>N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	32.6			
3	%DE AGREGADO FINO (<N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	59.1			
4	%DE FILLER (MÍNIMO 65%PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	1.3			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1')	2.727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0.955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.70	6.71	6.72	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1232.40	1234.00	1234.70	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1233.10	1235.00	1235.70	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	689.60	691.20	691.00	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0.7	1.0	1.0	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm <sup>3</sup> )	543.5	543.8	544.7	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.13	0.18	0.18	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm <sup>3</sup> )	2.268	2.269	2.267	2.268
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2.390			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5.1	5.1	5.2	5.1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm <sup>3</sup> )	2.656			
20	V.M.A. (%)	20.6	20.5	20.6	20.6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	75.1	75.4	75.0	75.2
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.657			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.01			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.99			
25	FLUJO (mm)	5.1	5.3	5.3	5.2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1276.2	1332.8	1309.2	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.93	0.93	0.93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1187.0	1239.0	1218.0	1215.0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2336.6	2322.8	2283.5	2314.0

**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**



**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

**SOLICITANTE** : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**TESIS DE GRADO** : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01.03.2019 **FECHA DE ENSAYO** : MARZO - ABRIL 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
 USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

**Características de la Mezcla :**

- Nº de golpes por cara	:		75			
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	7.4	7.6		7.8	
- Peso Especifico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2.262	2.255		2.247	
- Vacios, %	:	4.3	4.0		3.8	
- Vacios llenos con Cemento Asfáltico, %	:	80.2	82.4		84.7	
- V.M.A., %	:	21.2	21.6		22.2	
- Estabilidad, kg (kN)	:	1209.5	(11.862)	1202.6	(11.794)	1193.3 (11.702)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	5.3	(21.1)	5.4	(21.2)	5.4 (21.3)
- Absorción de Asfalto, %	:					
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	2262.0	(6.0)	2233.0	(6.0)	2201.0 (5.0)
- Estabilidad Retenida, %	:				97.7	
- Índice de Compactabilidad	:				5.0	
- Temperatura de la Mezcla, °C	:				140 - 145	

**Proporciones de mezcla :**

(1) Agregado grueso, % **	:	35.0
(2) Agregado fino, % **	:	63.5
(3) PEAD, % **	:	1.5
(4) Aditivo, % ***	:	--

**Materiales :**

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

**Nota :**

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico

## **ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO**



Cuarteo, agregado grueso retenido en la malla  $\frac{3}{4}$ ".



Cuarteo, agregado grueso retenido en la malla N°4.



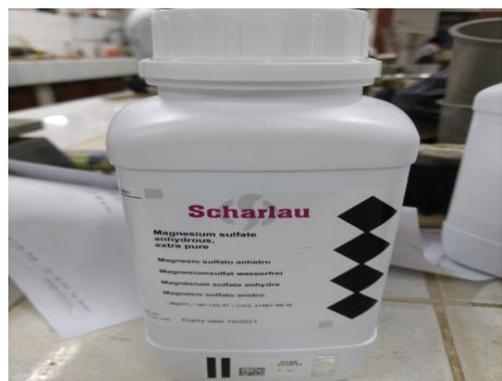
Agregado Fino, pasante la malla N°4.



Tamices para granulometría, de la malla 2" a la malla N°4.



Ensayo de granulometría de los agregados.



Sulfato de Magnesio para el ensayo de durabilidad.



Determinación de la densidad de la solución con sulfato de Magnesio.



Inmersión del agregado grueso en la solución de sulfato de Magnesio



Secado al horno a 110°C del agregado grueso inmerso en la solución.



Muestra de Agregado grueso después de haber sido sometido al horno.



Muestra de agregado grueso para el Ensayo de Abrasión, método B.



Máquina de Abrasión de Los Ángeles, para el agregado grueso.



Gravedad específica y Absorción.  
Saturación del agregado grueso.



Gravedad específica y Absorción.  
Peso saturado superficialmente seco.



Peso en el agua del agregado  
saturado superficialmente seco.



Gravedad específica y Absorción.  
Peso seco del agregado grueso.



Calibrador proporcional, ensayo de  
partículas chatas y alargadas.



Ensayo para la determinación del  
equivalente de arena.



Equivalente de Arena, agitador mecánico.



Lectura de arena y finos, luego de permanecer en reposo.



Copa de Casagrande, determinación del límite líquido.



Secado de la muestra de agregado fino saturado



Condición saturada superficialmente seca del agregado fino.



Gravedad específica y absorción del agregado fino.



Determinación cualitativa de impurezas orgánicas, agregado fino.



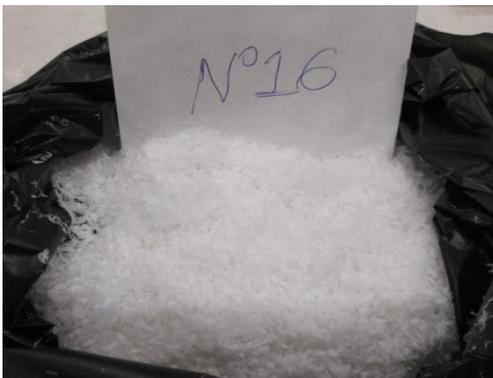
Comparación con la tabla de colores estándar.



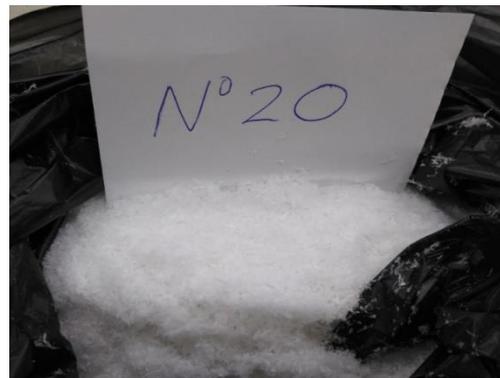
Resultado de ensayo químico de azul de metileno.



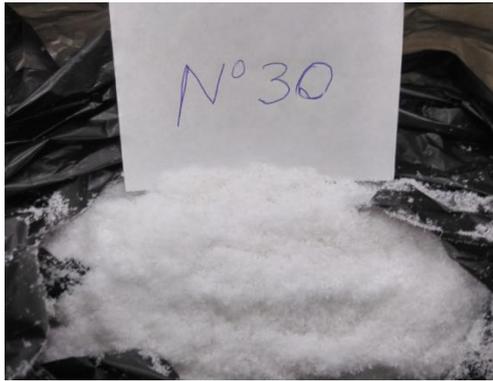
Determinación de la granulometría del PEAD reciclado.



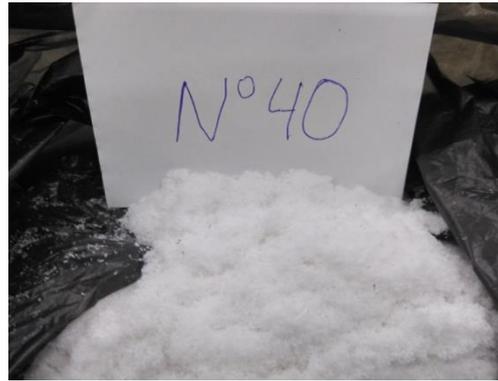
Peso retenido de PEAD reciclado en la malla Nº16.



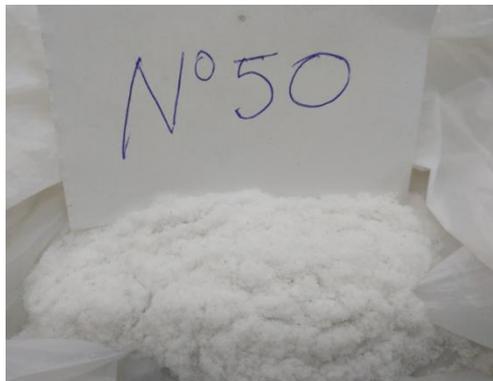
Peso retenido de PEAD reciclado en la malla Nº20.



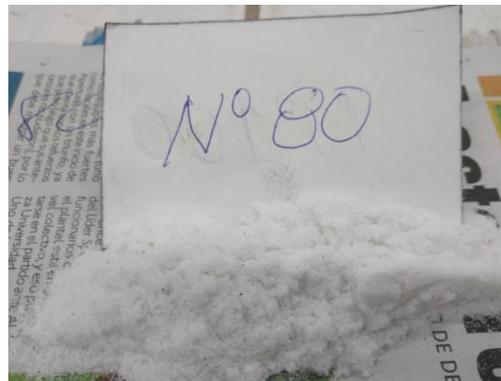
Peso retenido de PEAD reciclado en la malla N°30.



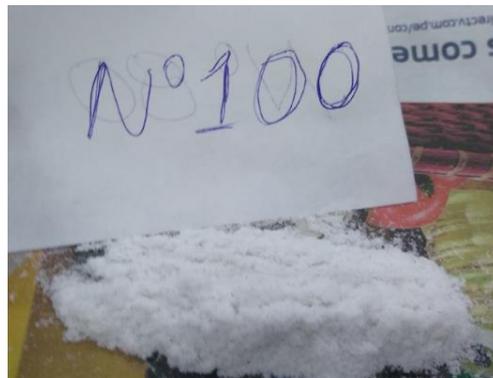
Peso retenido de PEAD reciclado en la malla N°40.



Peso retenido de PEAD reciclado en la malla N°50.



Peso retenido de PEAD reciclado en la malla N°80.



Peso retenido de PEAD reciclado en la malla N°100.



Porcentajes de PEAD reciclado en función al peso de los agregados.



Cemento asfáltico PEN PLUS 60/70,  
TDM ASFALTOS



Control de la temperatura del  
cemento asfáltico.



Mezcla patrón, dosificación de  
agregados y cemento asfáltico.



Mezcla patrón, mezcla de  
componentes.



Mezcla patrón, compactación de  
briquetas.



Mezcla patrón, control de  
temperatura del agua de 25°C.



Mezcla patrón, peso de la briqueta en el aire.



Mezcla patrón, inmersión de la briqueta en agua.



Mezcla patrón, peso de la briqueta saturada superficialmente seca.



Mezcla patrón, peso de la briqueta en agua.



Mezcla patrón, baño maría a 60°C, durante 30 min.



Mezcla patrón, determinación de la estabilidad y el flujo Marshall.



Peso específico teórico máximo, peso de la muestra asfáltica suelta.



Peso específico teórico máximo, extracción de aire atrapado.



Peso específico teórico máximo, agua más muestra asfáltica.



Mezcla con PEAD, incorporación de PEAD reciclado en los agregados.



Mezcla con PEAD, mezclado de agregados y PEAD reciclado



Mezcla con PEAD, adición de cemento asfáltico.





Envases reciclados de polietileno de alta densidad (PEAD) ó HDPE



Código de identificación de PEAD ó HDPE, corresponde el N°2

# **ANEXO 3: CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO**



## TDM ASFALTOS

### ASFALTO SOLIDO PEN PLUS 60/70 INFORME DE ENSAYO N° 013-2019 ASFALTO PEN PLUS 60/70

GUIA TDM ASFALTOS :

CLIENTE:

ROMEL ORTIZ

TANQUE:

LOTE DE PRODUCCIÓN:

LAB

CINTILLO DE SEGURIDAD N°:

CANTIDAD:

3 GALONES

FECHA DE PRODUCCIÓN:

09.02.2019

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MINIMO	MAXIMO	
PENETRACION 5 s, 25 °C	D-5	dmm	60	70	69
PUNTO DE INFLAMACION	D-92	°C	232	--	307
GRAVEDAD ESPECIFICA 15.6/15.6°C	D-70		Reportar		1.024
DUCTILIDAD 5 cm/min, 25°C	D-113	cm	100	--	> 105
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D-2042	%	99	--	99.91
<b>EFEECTO DE CALOR Y AIRE (PELICULA FINA)</b>	D-1754		MINIMO	MAXIMO	
PERDIDA POR CALENTAMIENTO	D-1754	%	--	0.8	0.17
PENETRACION RETENIDA % original	D-5		52	--	76.8
DUCTILIDAD 5 cm/min, 25°C	D-113	cm	50	--	106.9
<b>INDICE DE PENETRACION</b>	(*) Francés RLB		-1	1	-0.2
<b>FLUIDEZ</b>					
VISCOSIDAD CINEMATICA 100°C	D-2170	cSt	Reportar		4900
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C	D-2170	cSt	200	--	500
<b>ADHERENCIA</b>	D-3625		MINIMO	MAXIMO	
REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO	D-3625	%	> 95	--	> 95

OBSERVACIONES:

1. El producto cumple especificaciones de calidad.
2. Los resultados solo corresponden a la muestra analizada.
- 3.(\*\*) Los resultados corresponden al correlativos -001-02-2019 con procedencia REPSOL
4. Se adjunta Hoja de Seguridad del Producto y Hoja Resumen Art. 54 D.S. N°021-2008-MTC
5. (\*) Corresponde a otro metodo de ensayo.

CÓDIGO DE CONTRAMUESTRA:

S/C

Original: Cliente  
Cargo: Laboratorio

TDM ASFALTOS S.A.C.

TEC. OMAR GODOY

Fecha de Emisión : Lima, 27 de febrero del 2019

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

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

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



**1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA**  
 Cemento Asfáltico Convencional y Cemento Asfáltico Serie PLUS  
 Para aplicaciones específicas ver la Ficha Técnica del producto.  
**Identificación de la empresa**  
 TDM ASFALTOS S.A.C.  
 Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín  
 Teléfono: 616-9300 Fax: 616-9313

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS**  
 Mezcla de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular.

**3. RIESGOS**

- OJOS: El contacto con el producto en estado líquido provoca quemaduras graves y los vapores causan irritación.
- PIEL: El producto en estado líquido ocasiona quemaduras. A temperatura ambiente no hay efectos serios a corto plazo.
- INHALACION: La inhalación de los vapores del producto caliente provoca dolor de cabeza, irritación nasal y respiratoria, tos, mareos y vértigo.
- INGESTION: La ingestión del producto a la temperatura de manipulación es improbable; sin embargo sí se realiza a temperatura ambiente provoca irritación al estómago y vómitos.

**4. PRIMEROS AUXILIOS**

- OJOS: Lavar con abundante agua por 15 minutos. Obtener atención médica de inmediato para la remoción del producto y el tratamiento de las quemaduras si el contacto ocurrió a alta temperatura.
- PIEL: En caso de contacto con el producto caliente; lavar con abundante agua, no remover el producto si está adherido a la piel, esto debe ser realizado por personal médico. El lavado con jabón y abundante agua es suficiente si el producto está frío, en todo caso, obtener atención médica de inmediato.
- INGESTION: Para el producto frío, no inducir al vómito y obtener atención médica de inmediato.

**5. INFLAMABILIDAD**

**CASO DE INCENDIO:** Evacuar a más de 500 metros si hay un tanque o camión tanque involucrado. Detener el sistema de calentamiento del producto y controlar la fuga en caso que exista. Utilizar medios adecuados para extinguir el fuego y agua en forma de rocío para enfriar los tanques o los cilindros.  
**AGENTES DE EXTINCIÓN:** Polvo químico seco, CO2 y espuma.

**PRECAUCIONES ESPECIALES:** Durante el incendio, evitar que el agua entre en contacto directamente con el producto, debido a los riesgos de salpicaduras y erupciones violentas.  
 La extinción de fuego de grandes proporciones sólo debe ser realizada por personal especializado.

**6. PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME**

- DERRAMES PEQUEÑOS Y MEDIANOS: Detener la fuga y ventilar la zona afectada. Contener el líquido caliente con arena, tierra u otro material apropiado. Dejar enfriar el producto para que se solidifique y trasladarlo hacia un depósito identificado. Si es posible, recuperar o realizar la disposición final de acuerdo a un Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos.
- DERRAMES DE GRAN PROPORCIÓN: Evacuar al personal no necesario. Apagar el sistema de calentamiento del tanque o camión tanque. Detener la fuga o interrumpir el suministro del producto y ventilar el área. Contener el derrame y dejar enfriar, recoger el producto y si es posible, proceder a su recuperación. Colocar el material contaminado en recipientes identificados para su disposición final.

**7. MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO**

Usar un equipo completo de protección durante la manipulación del producto en estado líquido, posteriormente proceder a la higiene personal. Antes de realizar el procedimiento de carga y/o descarga del producto, conectar a tierra los tanques o camiones tanque. Usar sistemas a prueba de chispas y explosión. Evitar salpicaduras. Almacenar en tanques especialmente diseñados para tal fin, debido a las facilidades para su manipulación, los tanques poseen un sistema de calentamiento, por lo tanto es necesario realizar un monitoreo permanente de la temperatura para evitar el sobrecalentamiento del producto. Se recomienda mantener la temperatura a 30°C por debajo del punto de inflamación del producto. El producto no debe ser almacenado en instalaciones ocupadas permanentemente por personas. La manipulación y almacenamiento del producto en estado líquido se debe realizar de tal manera que no sea posible el contacto con el agua.

**8. PROTECCION PERSONAL**

- PROTECCION RESPIRATORIA: No es necesaria cuando existan condiciones de ventilación adecuadas. Si se realiza alguna actividad donde exista la exposición a altas concentraciones de vapores del producto en el aire, se requiere de un equipo de respiración

- autocontenida.
- OJOS: Gafas de seguridad contra salpicaduras químicas.
- PIEL: Guantes de neopreno, nitrilo o PVC, zapatos de seguridad, protectores faciales y ropa completa de protección.

**9. Propiedades físico-químicas**

**Apariencia, color y olor:**  
 Sólido a temperatura ambiente, líquido durante su manipulación a más de 100°C, homogéneo y libre de agua.  
**Color de marrón oscuro a negro y olor característico.**  
**Gravedad específica:** 15.6/15.6°C: 1.01-1.03  
**Punto de inflamación, °C:** 232 mín.  
**Punto de autoignición, °C:** 485 aprox.  
**Límites de inflamabilidad, % vol. en aire:** de 1 a 6 aprox.  
**Solubilidad en agua:** insignificante  
**Familia química:** hidrocarburos (derivado de petróleo)

**10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

**ESTABILIDAD:** Estable a temperatura ambiente.  
**COMPATIBILIDAD DEL MATERIAL:** Es incompatible con agentes oxidantes fuertes como cloro, hipoclorito de sodio, peróxidos, etc. Durante su manipulación a altas temperaturas es incompatible con el agua.

**11. INFORMACION TOXICOLOGICA**

Al momento de elaborar la hoja de seguridad no se dispone de información suficiente para hacer una evaluación satisfactoria sobre este apartado.

**12. INFORMACION ECOLOGICA**

**Forma y potencial contaminante**  
**Persistencia y biodegradabilidad**  
 No da lugar a fracciones solubles en agua. El producto derramado en el agua puede hundirse causando un daño mecánico a la flora y fauna que están en contacto. Los componentes del asfalto no se biodegradan significativamente en el medio ambiente. En condiciones normales el producto permanece en el lugar.  
**Movilidad/bioacumulación**  
 De acuerdo con sus propiedades físicas el asfalto no es móvil y permanece en la superficie del suelo o se asienta en la superficie de los sedimentos acuáticos al ser insoluble. La bioacumulación es improbable debido a su baja solubilidad.  
**Efecto sobre el medio ambiente/ecotoxicidad**  
 El producto no es tóxico para el medioambiente. No es peligroso para las plantas y ambientes acuáticos.

**13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACION**

**Residuos:**  
**Eliminación:** Los materiales contaminados serán depositados en rellenas de seguridad u otros sistemas debidamente aprobados por la Autoridad de Salud de nivel nacional. Se debe remitir a un gestor autorizado.  
**Manipulación:** Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.  
**Disposiciones:** Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir la Ley 27314, ley general de residuos sólidos, su reglamento D.S. N° 057-2004-PCM, las normas sectoriales y locales específicas u otras disposiciones vigentes referidos a la gestión de residuos.

**14. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE**

El producto es transportado a granel en camiones tanque, que poseen sistemas de calentamiento para mantener el producto en estado líquido; el personal que realiza el traslado del producto debe estar previamente capacitado para acciones de emergencia durante el trayecto. Si el producto está envasado en cilindros y es transportado a temperatura ambiente no presenta riesgos de peligrosidad. El transporte se realiza de acuerdo a las normas de seguridad vigentes.

**15. INFORMACION REGLAMENTARIA**

Código Naciones Unidas: UN 1999  
 Señalización pictórica, NTP 399.015:2001



Rombo de Seguridad - NFPA 704



- Salud : 0
- Inflamabilidad : 1
- Reactividad : 0

	<b>HOJA DE SEGURIDAD</b> CEMENTO ASFALTICO	HS- PEN
		Version: 02
		Revisión: 21.10.2014

#### 16. OTRAS INFORMACIONES

##### Normativa:

- Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos, aprobado por D.S. N°026-94-EM y modificaciones.
- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, aprobado por D.S. N°052-1993-EM y modificaciones.
- Reglamento de medio ambiente para las actividades de hidrocarburos, aprobado por D.S. N°015-2004-EM y modificaciones.
- Reglamentos para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos, aprobados por Decretos Supremos N°030-1998-EM y N°045-2001-EM y modificaciones.

Emergencias a nivel nacional: 116

Las precauciones sobre Salud y Seguridad, así como los consejos sobre Medioambiente contenidas en esta Hoja de Datos pueden no ser válidas para todas las situaciones individuales. Es obligación del usuario evaluar y utilizar este producto con seguridad y cumpliendo todas las leyes y regulaciones aplicables. Ninguna declaración contenida en esta Hoja de Datos puede ser tomada como un permiso, recomendación o autorización dada o implícita para practicar ninguna invención patentada sin una licencia válida. TDM ASFALTOS SAC no será responsable de ningún daño o lesión resultado del uso anormal de este material, de ningún fallo derivado de las recomendaciones, ó de ningún peligro inherente a la naturaleza del material.

 <b>FORMATO DE LA HOJA RESUMEN DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS</b>	
<b>Nombre o denominación del remitente:</b> <b>TDM ASFALTOS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - TDM ASFALTOS S.A.C.</b>	
<b>Teléfono del remitente:</b> Teléfono: 616-9300 Fax: 616-9313	
<b>Denominación del material o residuo peligroso a transportar:</b> <b>CEMENTO ASFALTICO</b>	
<b>Clase:</b> 3	
<b>NF OMS:</b> 1999	
<b>PELIGROS</b>	<b>Manipulación y Almacenamiento:</b> Usar un equipo completo de protección durante la manipulación del producto en estado líquido, posteriormente proceder a la higiene personal. Antes de realizar el procedimiento de carga y/o descarga del producto, conectar a tierra los tanques o camiones tanque. Usar sistemas a prueba de chispas y explosión. Evitar salpicaduras. Almacenar en tanques especialmente diseñados para tal fin, debido a las facilidades para su manipulación, los tanques poseen un sistema de calentamiento, por lo tanto es necesario realizar un monitoreo permanente de la temperatura para evitar el sobrecalentamiento del producto. Se recomienda mantener la temperatura a 30°C por debajo del punto de inflamación del producto. La manipulación y almacenamiento del producto en estado líquido se debe realizar de tal manera que no sea posible el contacto con el agua.
<b>EQUIPOS DE PROTECCIÓN QUE DEBE LLEVAR EL VEHICULO</b>	- Un conjunto de dimensiones apropiadas para el vehículo y el diámetro de las ruedas Señales de peligro (conos o triángulos de seguridad, etc.) Chalecos o ropa fluorescente Intermite de mano no metálica Guantes protectores Botas resistentes al calor Gafas o pantalla protectora de ojos Líquidos para lavar ojos
<b>ACCIONES INMEDIATAS POR PARTE DEL CONDUCTOR ANTE LA EMERGENCIA</b>	Aplicar el sistema de freno, apagar el motor y, de ser posible, desconectar la batería. No provocar fuego o fumar ni activar ningún equipo eléctrico. Colocar las señales de peligro. Mantener a las personas alejadas del área de peligro. No caminar sobre el material derramado ni tocarlo. -Mantener fuera de la dirección del viento que arrastra los gases u olores del material. -Notificar de inmediato a la policía, bomberos y a la empresa de transporte. Tener a la mano los documentos de transporte para ser entregados a las autoridades o equipos de emergencia.
<b>DESEMBO</b>	<b>Derrames pequeños y medianos:</b> Detener la fuga y ventilar la zona afectada. Contener el líquido caliente con arena, tierra u otro material apropiado. Dejar el producto para que se solidifique y trasladarlo hasta un depósito identificado. Si es posible, recuperar o realizar la disposición final de acuerdo a un Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos. <b>Derrames de gran proporción:</b> Evacuar al personal no necesario. Apagar el sistema calentamiento del tanque o camión tanque. Detener la fuga o interrumpir el suministro del producto y si es posible, proceder a su recuperación. Colocar el material contaminado en recipientes identificados para su disposición final.
<b>INCENDIO</b>	Evacuar a más de 500 metros si hay un tanque o camión tanque involucrado. Detener el sistema de calentamiento del producto y controlar la fuga en caso que exista. Utilizar medios adecuados para extinguir el fuego y agua en forma de lluvia para enfriar los tanques a cilindros. Agentes de extinción: gases químicos secos, CO2 y espuma. <b>Precauciones especiales:</b> - Durante el incendio, evitar que el agua entre en contacto directamente con el producto, debido a los riesgos de salpicaduras y erupciones violentas. La extinción de fuego de grandes proporciones sólo debe ser realizada por personal especializado.

<b>PRIMEROS AUXILIOS:</b> <b>Ojos:</b> Lavar con abundante agua por 15 minutos. Obtener atención médica de inmediato para la remoción del producto y el tratamiento de las quemaduras si el contacto ocurrió a alta temperatura. <b>Piel:</b> En caso de contacto con el producto caliente; lavar con abundante agua, no remover el producto si está adherido a la piel, más debe ser realizado por personal médico. Si bañado con jabón y abundante agua es suficiente si el producto está frío, en todo caso, obtener atención médica de inmediato. <b>Ingestión:</b> Para el producto frío, no inducir al vómito y obtener atención médica de inmediato.	<b>Industria:</b> Recipiente
	<b>Industria:</b> Wendy Herencia - Jefe de Area Técnica

**FECHA DE EMISIÓN DE LA HOJA DE RESUMEN:** 03/06/2014  
**VERSIÓN:** 1



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

## REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ROMEL DANIEL ORTIZ HUAMÁN MUESTRA : Agregado  
DOMICILIO : Calle 10 de Enero, Mz. "W", Lt "11", Urb. Villa Mercedes Los Olivos  
PROYECTO : Tesis: "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para rodadura Incorporando por Vía Seca Pead Reciclado" CANTIDAD : 1 - 1.5 Kg.  
REFERENCIA : OFICIO N° 231-2018-MTC/14.01  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.27 FECHA DE ENSAYO : Del 2019.03.27 al 2019.04.19

Resultados		Agregado Fino; Cantera: GLORIA	Agregado Grueso; Cantera: GLORIA
1	Contenido de Sales Solubles, mg/kg (ppm)	1208	1080
2	Contenido de Cloruros, mg/kg (ppm)	211	121
3	Contenido de Sulfatos, mg/kg (ppm)	214	178
4	Azul de Metileno; mg/g	13.5	NA

- (1) MTC E 219 (2016): Sales Solubles en Agregados Para Pavimentos Flexibles  
(2) NTP 400.042 (2016): Método de Ensayo para la Determinación Cuantitativa de Cloruros y Sulfatos Solubles en Agua para Agregados de Concreto  
(3) NTP 400.042 (2016): Método de Ensayo para la Determinación Cuantitativa de Cloruros y Sulfatos Solubles en Agua para Agregados de Concreto  
(4) AASHTO T330-07(2011): Detección de Arcillas Nocivas del Grupo de Esmeclita en agregados, utilizando Azul de Metileno  
NA No analizado



Ing. Responsable  
Lima, 24 de Abril del 2018



**REPORTE DE ENSAYO**

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados  
 PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" CANTIDAD : 40 kg c/u.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04. FECHA ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

MALLAS		DENOMINACIÓN	Cantera La Gloria; Agregado grueso (Grava)		Cantera La Gloria; Agregado fino					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	NORMAS ENSAYO	RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)				
3"	76.200	MTC E-204 (2 016)								
2 1/2"	63.500									
2"	50.800									
1 1/2"	38.100									
1"	25.400									
3/4"	19.050				100					
1/2"	12.700			6	94					
3/8"	9.525			18	76					
1/4"	6.350			41	35					
N° 4	4.760			24	11		100			
N° 6	3.360			9	2	10	90			
N° 8	2.380			1	1	15	75			
N° 10	2.000			1	-	7	68			
N° 16	1.190					18	50			
N° 20	0.840					8	42			
N° 30	0.590					7	35			
N° 40	0.426					6	29			
N° 50	0.297					5	24			
N° 80	0.177					6	18			
N° 100	0.149					2	16			
N° 200	0.074				6	10				
- N° 200	-	MTC E-202 (2 016)			10	-				
LÍMITE LÍQUIDO (Malla N° 40)		MTC E-110 (2 016)	--		17					
LÍMITE PLÁSTICO (Malla N° 40)		MTC E-111 (2 016)	--		--					
ÍNDICE PLÁSTICO (%)		MTC E-110 (2 016)	--		N.P.					
LÍMITE LÍQUIDO (Malla N° 200)		MTC E-110 (2 016)	--		24					
LÍMITE PLÁSTICO (Malla N° 200)		MTC E-111 (2 016)	--		--					
ÍNDICE PLÁSTICO (%)		MTC E-110 (2 016)	--		N.P.					



ING. RESPONSABLE  
Lima, 15 de Mayo de 2 019



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

## REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregado fino  
PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" CANTIDAD : 40 kg

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04.

FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

MTC E-114 (2 016) SUELOS. EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS (\*)

DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Cantera La Gloria; Agregado fino	65



ING. RESPONSABLE

Lima, 15 de Mayo de 2 019



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

### REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL

MUESTRA : Agregados

PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado"

CANTIDAD : 40 kg

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04.

FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

MTC E-209 (2 016) AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO (\*).

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Cantera La Gloria; Agregado grueso (Grava)	Pérdida o desgaste del agregado grueso	12,1



ING. RESPONSABLE

Lima, 15 de Mayo de 2 019



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

### REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados  
PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" CANTIDAD : 40 kg  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

MTC E-207 (2 016) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN EN AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (\*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (%)
Cantera La Gloria; Agregado grueso (Grava)	Tamaño Máximo Nominal: 1/2"	17
	Gradación: "B"	
	Número de Esferas: 11	





PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

### REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados  
PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" CANTIDAD : 40 kg  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

MTC E-206 (2 016) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (\*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera La Gloria; Agregado grueso (Grava)	Peso específico bulk (base seca) g/cm <sup>3</sup>	2,727
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm <sup>3</sup>	2,751
	Peso específico aparente (base seca) g/cm <sup>3</sup>	2,793
	Absorción (%)	0,86



ING. RESPONSABLE  
Lima, 15 de Mayo de 2 019

**PERÚ****Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones****REPORTE DE ENSAYO**

**SOLICITANTE** : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL **MUESTRA** : Agregados  
**PROYECTO** : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" **CANTIDAD** : 40 kg  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2 019.03.04. **FECHA DE ENSAYO** : Marzo - Abril - 2 019

**MTC E-205 (2 016)** **AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (\*)**

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera La Gloria; Agragado fino	Peso específico bulk (base seca) g/cm <sup>3</sup>	2,724
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm <sup>3</sup>	2,737
	Peso específico aparente (base seca) g/cm <sup>3</sup>	2,760
	Absorción (%)	0,47





PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

## REPORTE DE ENSAYO

**SOLICITANTE** : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL **MUESTRA** : Agregados  
**PROYECTO** : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" **CANTIDAD** : 40 kg  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2 019.03.04. **FECHA DE ENSAYO** : Marzo - Abril - 2 019

**MTC E-213 (2 016) AGREGADOS. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR CUALITATIVAMENTE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO (\*)**

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (Número de Placa Orgánica del 1 al 5) **	INTERPRETACIÓN DE RESULTADO (Presencia cualitativa de impurezas orgánicas)
Cantera La Gloria; Agragado fino	Grado "1"	Acceptable



ING. RESPONSABLE

Lima, 15 de Mayo de 2 019



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

### REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados  
PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" CANTIDAD : 40 kg

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04.

FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

#### NTP 400.040 (2 015) AGREGADOS. PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO (\*)

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera La Gloria; Agregado grueso (Grava)	Partículas chatas y alargadas (relación 1 a 3)	9,6



RESPONSABLE  
Lima, 15 de Mayo de 2 019



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

### REPORTE DE ENSAYO

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados  
PROYECTO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado" CANTIDAD : 40 kg  
FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril - 2 019

#### MTC E-210 (2 016) PORCENTAJE DE CARAS DE FRACTURA EN EL AGREGADO GRUESO

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera La Gloria; Agregado grueso (Grava)	Partículas con una ó más caras de fractura	89,1
	Partículas con dos ó más caras de fractura	77,1



ING. RESPONSABLE  
Lima, 15 de Mayo de 2 019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,3			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61,8			
4	% DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) RECICLADO				
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,58	6,57	6,56	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1211,40	1208,40	1208,40	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1213,00	1209,60	1209,80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	679,40	676,80	677,60	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,6	1,2	1,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	533,6	532,8	532,2	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,30	0,23	0,26	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,270	2,268	2,271	2,270
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,549			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	10,9	11,0	10,9	11,0
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,725			
20	V.M.A. (%)	20,9	20,9	20,8	20,9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	47,7	47,3	47,5	47,5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,766			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,55			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4,45			
25	FLUJO (mm)	4,6	4,3	4,3	4,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	984,6	932,9	871,8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	945,0	896,0	837,0	893,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2066,9	2075,0	1938,4	2027,0

Pág. 1/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,1			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61,4			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	-,-			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,40	6,55	6,64	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1215,00	1214,80	1204,80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1215,80	1217,40	1206,50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	697,20	686,40	668,40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,8	2,6	1,7	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	518,6	531,0	538,1	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,15	0,49	0,32	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,343	2,288	2,239	2,290
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,522			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	7,1	9,3	11,2	9,2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,725			
20	V.M.A. (%)	18,8	20,7	22,4	20,6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	62,2	55,1	49,9	55,7
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,757			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,43			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,07			
25	FLUJO (mm)	5,0	5,6	4,3	5,0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1026,9	956,4	965,8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,00	0,96	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1027,0	918,0	898,0	948,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2073,5	1642,8	2079,7	1932,0

Pág. 2/7



CONTROL DE CALIDAD -  
 A.E. DÍAZ C.  
 MEZCLAS ASFÁLTICAS  
 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

## REPORTE DE ENSAYOS

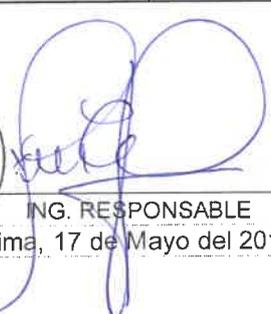
**SOLICITANTE** : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2019.03.04. **FECHA DE ENSAYO** : Marzo - Abril 2019.

### ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,9			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61,1			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,32	6,51	6,70	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1221,20	1211,60	1218,80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1221,40	1213,30	1219,50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	709,40	685,80	676,40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,2	1,7	0,7	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	512,0	527,5	543,1	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,04	0,32	0,13	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,385	2,297	2,244	2,309
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,479			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	3,8	7,4	9,5	6,9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,725			
20	V.M.A. (%)	17,7	20,8	22,6	20,4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	78,6	64,7	58,1	67,1
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,726			
23	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,02			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,98			
25	FLUJO (mm)	5,1	5,3	5,1	5,2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1120,9	1036,3	1088,0	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,00	0,96	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1121,0	995,0	1012,0	1043,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2206,7	1865,4	1992,1	2021,0

Pág. 3/7



  
 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,7			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,8			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,51	6,50	6,45	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1222,60	1223,00	1224,20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1223,40	1224,60	1225,00	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	695,80	697,80	701,80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,8	1,6	0,8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	527,6	526,8	523,2	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,15	0,30	0,15	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,317	2,322	2,340	2,326
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,460			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5,8	5,6	4,9	5,4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,725			
20	V.M.A. (%)	20,5	20,3	19,7	20,2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	71,7	72,3	75,2	73,1
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,726			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,01			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,49			
25	FLUJO (mm)	5,6	5,3	5,3	5,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1041,0	1168,0	1120,9	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	999,0	1121,0	1076,0	1065,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	1787,8	2101,6	2017,2	1969,0

Pág. 4/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,6			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,5			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	-0,1			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,48	6,49	6,51	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1226,60	1229,20	1229,80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1227,40	1229,60	1230,10	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	701,80	703,50	702,70	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,8	0,4	0,3	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	525,6	526,1	527,4	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,15	0,08	0,06	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,334	2,336	2,332	2,334
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,445			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4,6	4,4	4,6	4,5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,725			
20	V.M.A. (%)	20,4	20,3	20,4	20,4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	77,7	78,1	77,3	77,7
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,730			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,07			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,93			
25	FLUJO (mm)	5,3	5,3	5,6	5,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1088,0	1102,1	1073,9	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1044,0	1058,0	1031,0	1044,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	1957,3	1983,5	1845,0	1929,0

Pág. 5/7



ING RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

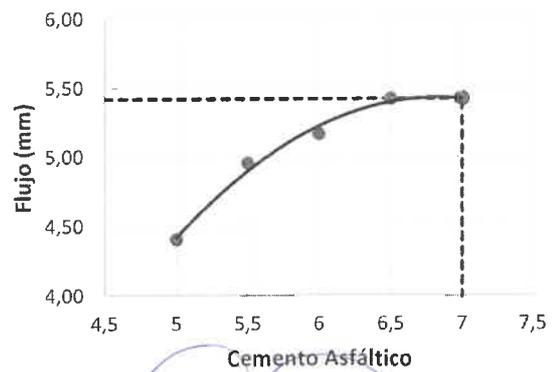
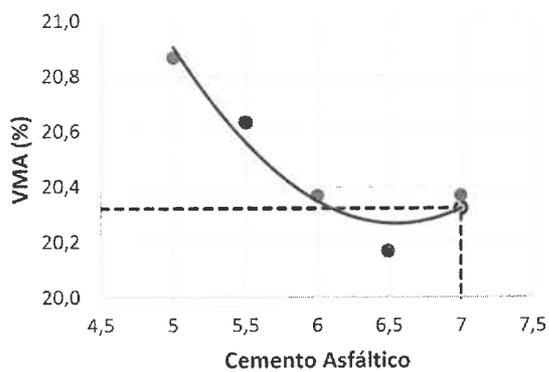
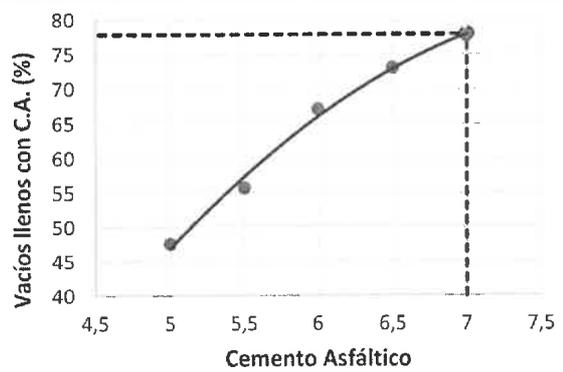
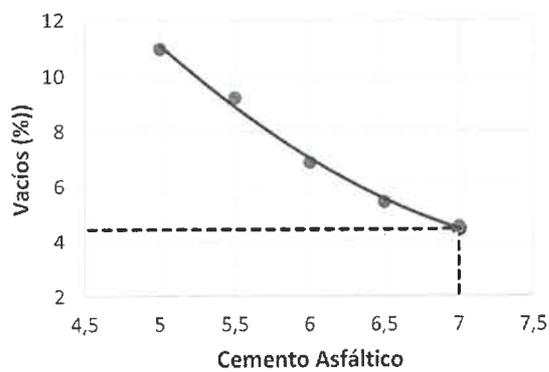
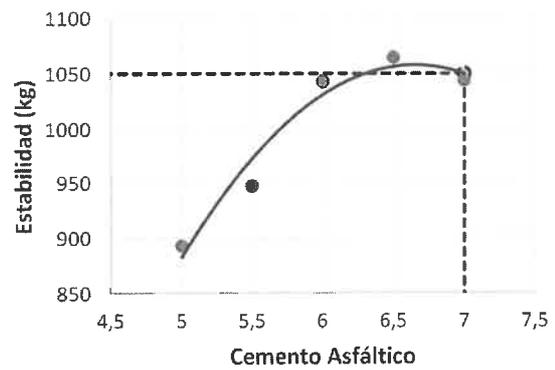
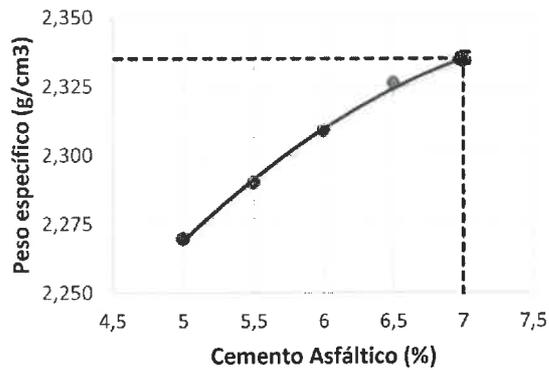


## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL



CONTROL DE CALIDAD  
 A.E. DÍAZ C.  
 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

### ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

#### Características de la Mezcla :

#### MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL (MAC-2)

- N° de golpes por cara	:								
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	6,8		7,0				7,2	
- Peso Especifico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2,331		2,335				2,338	
- Vacios, %	:	4,8		4,5				4,1	
- Vacios llenos con Cemento Asfáltico, %	:	76,2		78,0				79,5	
- V.M.A., %	:	20,3		20,3				20,4	
- Estabilidad, kg (kN)	:	1056,6	(10,362)	1050,3	(10,300)			1038,7	(10,186)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	5,4	(21,4)	5,4	(21,4)			5,4	(21,4)
- Absorción de Asfalto, %	:								
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	1946,0	(5,0)	1935,0	(5,0)			1913,0	(5,0)
- Estabilidad Retenida, %	:							97,7	
- Índice de Compactabilidad	:							5,0	
- Temperatura de la Mezcla, °C	:							140 - 145	

#### Proporciones de mezcla :

(1) Agregado grueso, % **	:							35,0	
(2) Agregado fino, % **	:							65,0	
(3) PEAD, % **	:							--	
(4) Aditivo, % ***	:							--	

#### Materiales :

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

#### Nota :

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico



Pág. 7/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

## REPORTE DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca en PEAD Reciclado". **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2019.03.04.

**FECHA DE ENSAYO** : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 0,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		5,0		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		33,3		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		61,3		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,4		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,024		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,727		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,724		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		0,955		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,56	6,56	6,56	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1203,60	1211,20	1207,40	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1205,00	1212,20	1208,60	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	673,00	680,60	676,80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,4	1,0	1,2	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	532,0	531,6	531,8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,26	0,19	0,23	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,262	2,278	2,270	2,270
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,558		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	11,6	10,9	11,2	11,2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,704		
20	V.M.A. (%)	20,5	20,0	20,2	20,2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	43,6	45,4	44,4	44,5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,777		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0,99		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4,01		
25	FLUJO (mm)	3,8	4,1	4,1	4,0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1177,4	1191,5	1191,5	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1130,0	1144,0	1144,0	1139,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2965,9	2815,0	2815,0	2865,0

Pág. 1/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04.

FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 0,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,1			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61,0			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,67	6,45	6,54	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1212,40	1211,80	1212,00	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1213,90	1212,90	1212,80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	673,40	690,00	682,60	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,5	1,1	0,8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	540,5	522,9	530,2	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,28	0,21	0,15	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,243	2,317	2,286	2,282
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,523			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	11,1	8,2	9,4	9,5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,704			
20	V.M.A. (%)	21,6	19,0	20,1	20,2
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	48,7	57,1	53,2	53,0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,758			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,74			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4,76			
25	FLUJO (mm)	4,1	4,1	4,3	4,1
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1332,8	1309,2	1332,8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,93	1,00	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1239,0	1309,0	1279,0	1276,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3048,7	3221,0	2962,0	3077,0

Pág. 2/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

### REPORTE DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.

**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2019.03.04. **FECHA DE ENSAYO** : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 0,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,9			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,6			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,5			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,43	6,59	6,61	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1222,00	1221,00	1222,00	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1222,60	1221,80	1222,80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	701,00	687,40	687,20	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,6	0,8	0,8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	521,6	534,4	535,6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,12	0,15	0,15	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,343	2,285	2,282	2,303
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,489			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5,9	8,2	8,3	7,5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,698			
20	V.M.A. (%)	18,4	20,4	20,5	19,8
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	68,1	59,8	59,4	62,4
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,739			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,57			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,43			
25	FLUJO (mm)	4,1	4,3	4,6	4,3
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1474,1	1427,0	1403,4	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,00	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1474,0	1370,0	1347,0	1397,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3627,0	3172,8	2946,2	3249,0

Pág. 3/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 0,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,7			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,3			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,5			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,54	6,46	6,54	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1231,20	1228,20	1229,80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1231,80	1228,80	1230,40	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	701,20	705,00	700,00	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,6	0,6	0,6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	530,6	523,8	530,4	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,11	0,11	0,11	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,320	2,345	2,319	2,328
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,441			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4,9	3,9	5,0	4,6
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,698			
20	V.M.A. (%)	19,6	18,7	19,6	19,3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	74,8	78,9	74,4	76,0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,701			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,04			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,46			
25	FLUJO (mm)	4,3	4,6	4,3	4,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1464,7	1757,2	1464,7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1406,0	1687,0	1406,0	1500,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3256,1	3689,9	3256,1	3401,0

Pág. 4/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 : Reciclado".

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04.

FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 0,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,6			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,0			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,51	6,49	6,48	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1238,00	1231,00	1230,60	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1238,40	1231,40	1231,20	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	711,00	705,60	706,20	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,4	0,4	0,6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	527,4	525,8	525,0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,08	0,08	0,11	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,347	2,341	2,344	2,344
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,426			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	3,2	3,5	3,4	3,4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,704			
20	V.M.A. (%)	19,3	19,5	19,4	19,4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	83,2	82,1	82,6	82,6
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,705			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,01			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,99			
25	FLUJO (mm)	4,6	4,6	4,6	4,6
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1488,3	1615,6	1559,0	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1429,0	1551,0	1497,0	1492,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3125,5	3392,4	3274,3	3264,0

Pág. 5/7



CONTROL DE CALIDAD -  
 A.E. DÍAZ C.  
 MEZCLAS ASFÁLTICAS

ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

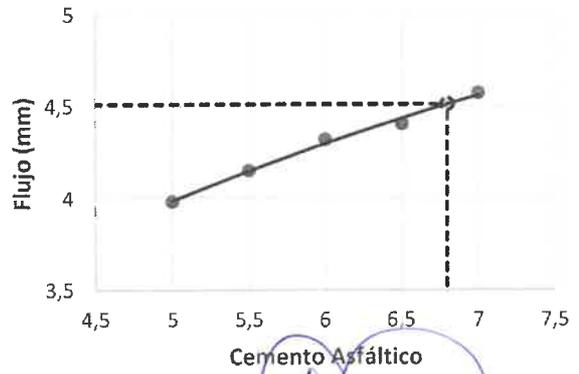
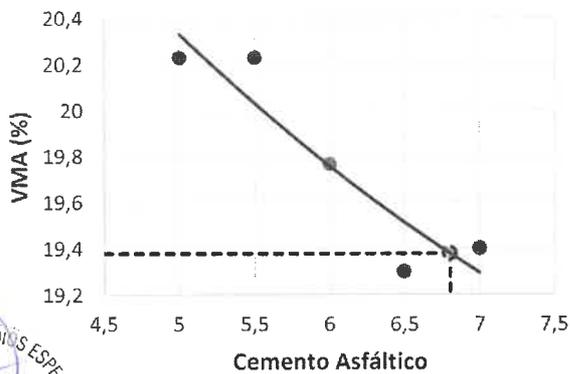
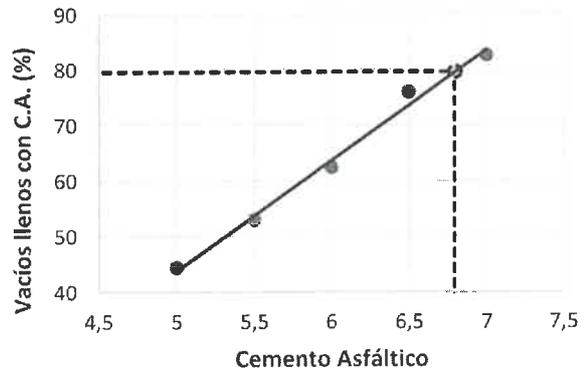
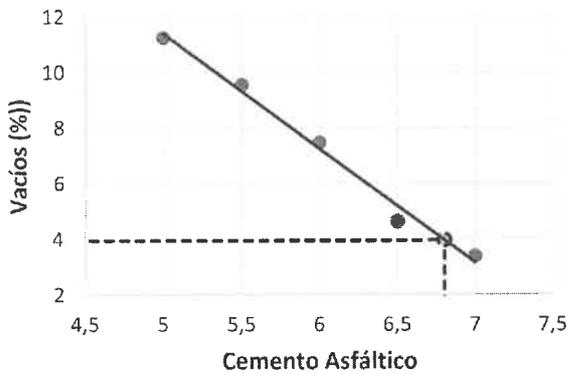
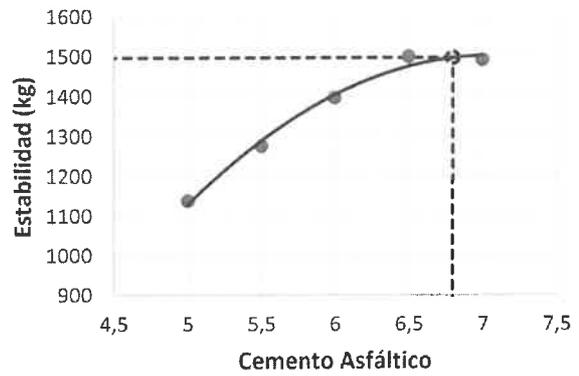
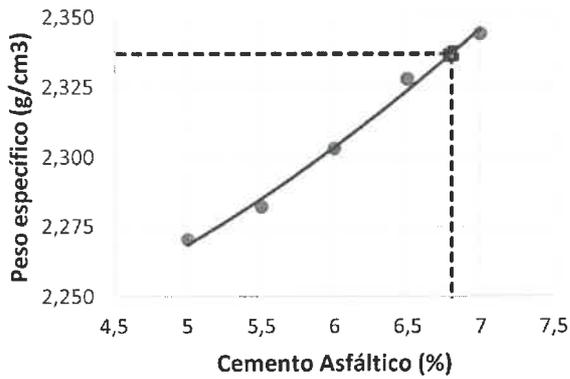


### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

#### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca en PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

### ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

#### Características de la Mezcla :

#### MEZCLA ASFÁLTICA + 0,5% PEAD (MAC-2)

- N° de golpes por cara	:		75			
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	6,6	6,8		7,0	
- Peso Específico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2,328	2,337		2,346	
- Vacíos, %	:	4,8	4,0		3,1	
- Vacíos Llenos con Cemento Asfáltico, %	:	75,6	79,6		83,6	
- V.M.A., %	:	19,5	19,4		19,3	
- Estabilidad, kg (kN)	:	1484,7	(14,560)	1497,3	(14,683)	1502,8 (14,737)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	5,4	(21,4)	5,4	(21,4)	4,5 (17,6)
- Absorción de Asfalto, %	:					
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	2735,0	(7,0)	2758,0	(7,0)	3369,0 (8,0)
- Estabilidad Retenida, %	:			97,7		
- Índice de Compactabilidad	:			5,0		
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145		

#### Proporciones de mezcla :

(1) Agregado grueso, % **	:	35,0
(2) Agregado fino, % **	:	64,5
(3) PEAD, % **	:	0,5
(4) Aditivo, % ***	:	--

#### Materiales :

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

#### Nota :

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico



ING. RESPONSABLE  
Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 : en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado".  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,0% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,4			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	61,1			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,56	6,59	6,57	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1202,20	1206,90	1200,80	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1204,00	1208,70	1202,40	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	671,80	674,60	669,40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,8	1,8	1,6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	532,2	534,1	533,0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,34	0,34	0,30	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,259	2,260	2,253	2,257
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,502			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	9,7	9,7	10,0	9,8
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,673			
20	V.M.A. (%)	19,3	19,3	19,5	19,4
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	49,6	49,8	48,9	49,4
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,685			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,17			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4,33			
25	FLUJO (mm)	4,1	4,6	4,6	4,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1379,9	1427,0	1356,3	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1325,0	1370,0	1302,0	1332,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3260,3	2996,5	2847,8	3035,0

Pág. 1/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 : Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD  
 Reciclado".  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,0% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		5,0		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		33,3		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		60,8		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,9		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,024		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,727		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,724		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		0,955		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,54	6,56	6,57	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1205,30	1210,10	1211,60	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1207,20	1212,10	1213,50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	676,60	680,40	681,20	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,9	2,0	1,9	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	530,6	531,7	532,3	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,36	0,38	0,36	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,272	2,276	2,276	2,275
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041		2,481		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	8,4	8,3	8,3	8,3
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,678		
20	V.M.A. (%)	19,4	19,3	19,3	19,3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	56,5	57,2	57,2	57,0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,682		
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0,05		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4,95		
25	FLUJO (mm)	5,1	4,8	5,1	5,0
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1450,6	1474,1	1379,9	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1393,0	1415,0	1325,0	1378,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2742,1	2932,0	2608,3	2761,0



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado".  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,0% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,1			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,5			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,9			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,56	6,56	6,59	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1216,50	1215,60	1221,20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1217,20	1216,20	1221,80	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	685,40	684,40	687,80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,7	0,6	0,6	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	531,8	531,8	534,0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,13	0,11	0,11	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,288	2,286	2,287	2,287
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,465			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	7,2	7,3	7,2	7,2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,678			
20	V.M.A. (%)	19,3	19,3	19,3	19,3
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	62,7	62,3	62,5	62,5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,685			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,10			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,40			
25	FLUJO (mm)	5,3	5,1	5,1	5,2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1474,1	1450,6	1474,1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1415,0	1393,0	1415,0	1408,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2652,8	2742,1	2785,4	2727,0

Pág. 3/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

**REPORTE DE ENSAYOS**

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado".

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**
**ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,0% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,9			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,2			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,9			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,54	6,58	6,60	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1216,80	1222,10	1225,90	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1217,50	1222,70	1226,20	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	687,60	689,60	691,40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,7	0,6	0,3	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	529,9	533,1	534,8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,13	0,11	0,06	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,296	2,292	2,292	2,294
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,446			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	6,1	6,3	6,3	6,2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,678			
20	V.M.A. (%)	19,4	19,5	19,5	19,5
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	68,5	67,8	67,7	68,0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,684			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,08			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,92			
25	FLUJO (mm)	5,6	5,1	5,3	5,3
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1474,1	1474,1	1474,1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1415,0	1415,0	1415,0	1415,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2532,2	2785,4	2652,8	2657,0

Pág. 4/7




ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



## REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 : Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD  
 Reciclado".  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,0% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,7			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	59,8			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,60	6,59	6,59	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1228,80	1227,00	1226,20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1229,40	1227,30	1226,90	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	694,50	693,40	692,40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,6	0,3	0,7	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	534,9	533,9	534,5	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,11	0,06	0,13	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,297	2,298	2,294	2,297
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,431			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5,5	5,5	5,6	5,5
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,672			
20	V.M.A. (%)	19,6	19,6	19,7	19,6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	71,9	72,1	71,4	71,8
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,688			
23	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,22			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,28			
25	FLUJO (mm)	5,3	5,6	5,3	5,4
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1403,4	1497,7	1592,0	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,96	0,96	0,96	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1347,0	1438,0	1528,0	1438,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2525,3	2573,4	2864,6	2654,0

Pág. 5/7



ING RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

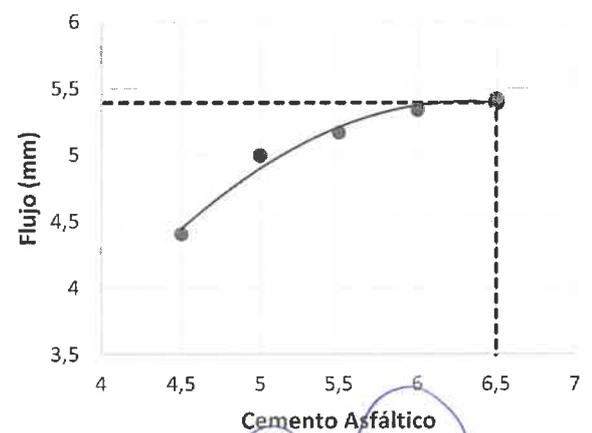
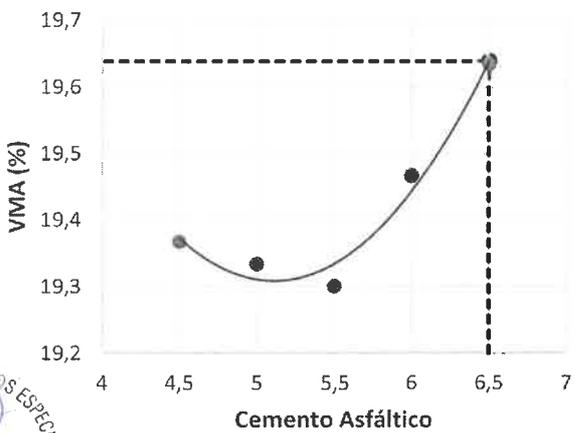
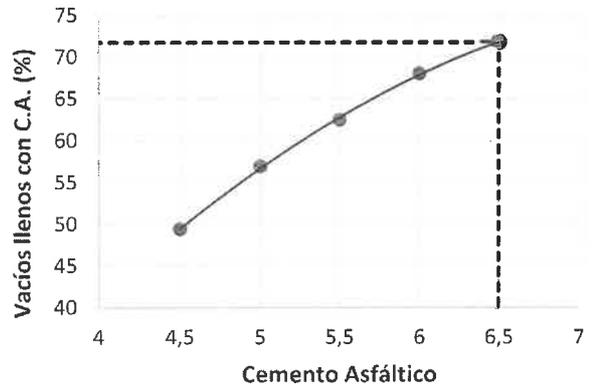
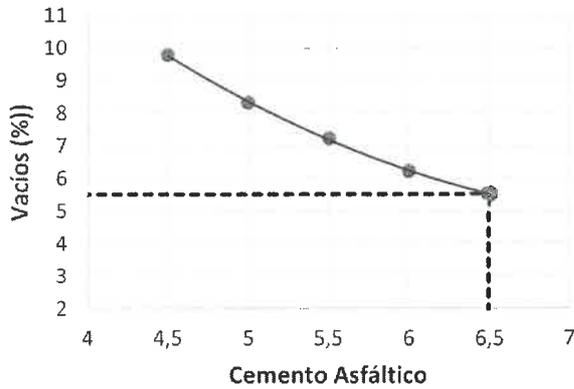
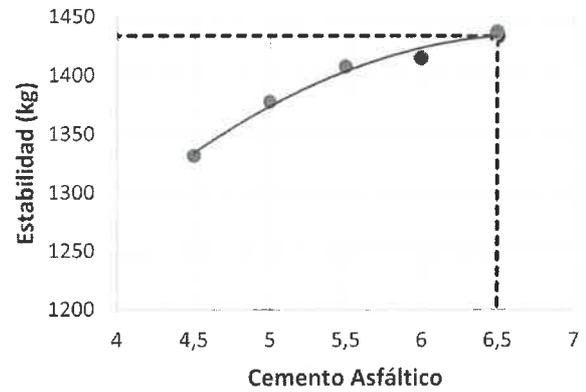
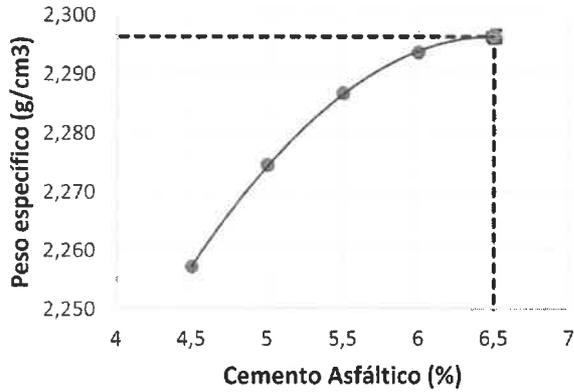


### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado". CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

#### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : "Evaluación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 : en Caliente para Rodadura Incorporando por Vía Seca PEAD Reciclado".  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

**Características de la Mezcla :**

**MEZCLA ASFÁLTICA + 1,0% PEAD (MAC-2)**

- Nº de golpes por cara	:						
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	6,3	6,5	6,7			
- Peso Especifico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2,296	2,296	2,296			
- Vacios, %	:	5,8	5,5	5,3			
- Vacios llenos con Cemento Asfáltico, %	:	70,4	71,8	73,1			
- V.M.A., %	:	19,6	19,6	19,7			
- Estabilidad, kg (kN)	:	1431,3	(14,036)	1434,1	(14,064)	1435,4	(14,077)
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	5,4	(21,3)	5,4	(21,3)	5,4	(21,3)
- Absorción de Asfalto, %	:						
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	2650,0	(7,0)	2655,0	(7,0)	2657,0	(7,0)
- Estabilidad Retenida, %	:			97,7			
- Índice de Compactabilidad	:			5,0			
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145			

**Proporciones de mezcla :**

(1) Agregado grueso, % **	:	35,0
(2) Agregado fino, % **	:	64,0
(3) PEAD, % **	:	1,0
(4) Aditivo, % ***	:	--

**Materiales :**

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Polietileno de alta densidad reciclado

**Nota :**

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico



ING. RESPONSABLE  
Lima, 17 de Mayo del 2019



### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,3			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,3			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,79	6,70	6,74	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1208,00	1206,60	1209,10	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1209,40	1208,00	1210,60	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	659,20	665,00	663,80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,4	1,4	1,5	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	550,2	543,0	546,8	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,25	0,26	0,27	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,196	2,222	2,211	2,210
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,460			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	10,8	9,7	10,1	10,2
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,653			
20	V.M.A. (%)	21,4	20,4	20,8	20,9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	49,8	52,6	51,4	51,3
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,656			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,04			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4,96			
25	FLUJO (mm)	4,6	4,6	4,6	4,6
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1196,2	1200,9	1205,6	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,89	0,93	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1065,0	1117,0	1121,0	1101,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2329,4	2443,1	2451,9	2408,0

Pág. 1/7



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**

#### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33,1			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	60,0			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,70	6,76	6,73	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1215,60	1219,40	1214,90	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1216,90	1220,80	1215,30	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	673,40	672,60	669,40	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,3	1,4	0,4	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	543,5	548,2	545,9	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,24	0,26	0,07	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,237	2,224	2,225	2,229
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,451			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	8,8	9,3	9,2	9,1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,652			
20	V.M.A. (%)	20,3	20,7	20,7	20,6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	56,9	55,3	55,6	55,9
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,667			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,22			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,28			
25	FLUJO (mm)	4,8	4,8	4,8	4,8
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1238,6	1262,1	1262,1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,93	0,89	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1152,0	1123,0	1174,0	1150,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2387,1	2327,0	2432,7	2382,0

Pág. 2/7


 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

### REPORTE DE ENSAYOS

**SOLICITANTE** : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL **MUESTRA** : Agregados, asfalto y aditivo  
**TESIS DE GRADO** : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA **CANTIDAD** : 300 - 350 kg.  
 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA  
 INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 2019.03.04. **FECHA DE ENSAYO** : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**

#### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,9			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	59,7			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,66	6,69	6,63	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1223,20	1224,20	1221,40	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1224,30	1225,30	1222,50	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	684,60	682,80	684,60	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1,1	1,1	1,1	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	539,7	542,5	537,9	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,20	0,20	0,20	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,266	2,257	2,271	2,265
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,438			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	7,0	7,4	6,9	7,1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,652			
20	V.M.A. (%)	19,7	20,0	19,5	19,7
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	64,3	62,8	64,8	64,0
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,674			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,31			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5,69			
25	FLUJO (mm)	4,8	4,6	5,3	4,9
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1285,7	1262,1	1285,7	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,93	0,93	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1196,0	1174,0	1196,0	1189,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2478,2	2567,8	2242,2	2429,0

Pág. 3/7


 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,7			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	59,4			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,4			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,67	6,66	6,66	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1218,90	1231,90	1229,20	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1219,60	1232,80	1230,40	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	679,00	693,20	690,80	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,7	0,9	1,2	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	540,6	539,6	539,6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,13	0,17	0,22	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,255	2,283	2,278	2,272
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,414			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	6,6	5,4	5,6	5,9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,651			
20	V.M.A. (%)	20,5	19,5	19,7	19,9
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	67,8	72,2	71,4	70,5
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,666			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,21			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,29			
25	FLUJO (mm)	5,1	5,3	5,1	5,2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1299,8	1309,2	1299,8	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,93	0,93	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1209,0	1218,0	1209,0	1212,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2379,9	2283,5	2379,9	2348,0

Pág. 4/7



INC. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004)**

#### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL

	N° DE BRIQUETAS	MEZCLA ASFÁLTICA + 1,5% PEAD			
		1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7,0			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	32,6			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	59,1			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	1,3			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,024			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,727			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,724			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	0,955			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6,70	6,71	6,72	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1232,40	1234,00	1234,70	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1233,10	1235,00	1235,70	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	689,60	691,20	691,00	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,7	1,0	1,0	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	543,5	543,8	544,7	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,13	0,18	0,18	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,268	2,269	2,267	2,268
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,390			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5,1	5,1	5,2	5,1
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,656			
20	V.M.A. (%)	20,6	20,5	20,6	20,6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	75,1	75,4	75,0	75,2
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,657			
23	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,01			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6,99			
25	FLUJO (mm)	5,1	5,3	5,3	5,2
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1276,2	1332,8	1309,2	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	0,93	0,93	0,93	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1187,0	1239,0	1218,0	1215,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	2336,6	2322,8	2283,5	2314,0

Pág. 5/7


 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019

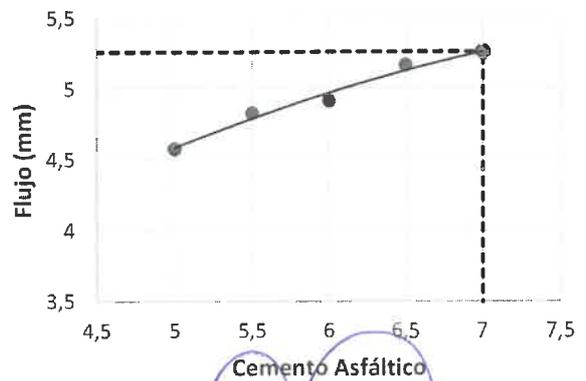
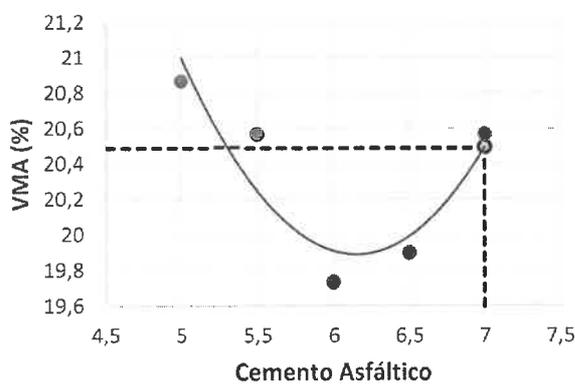
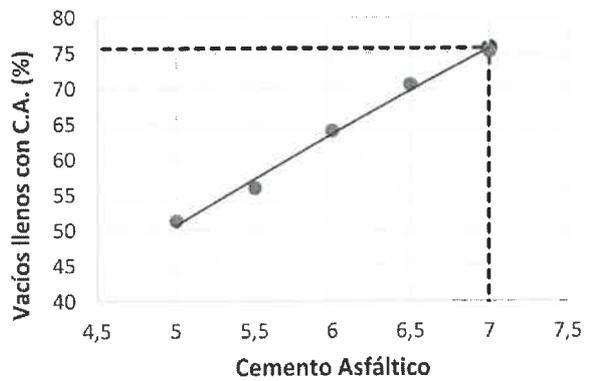
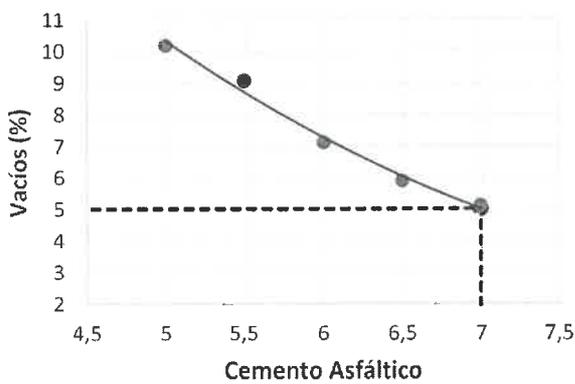
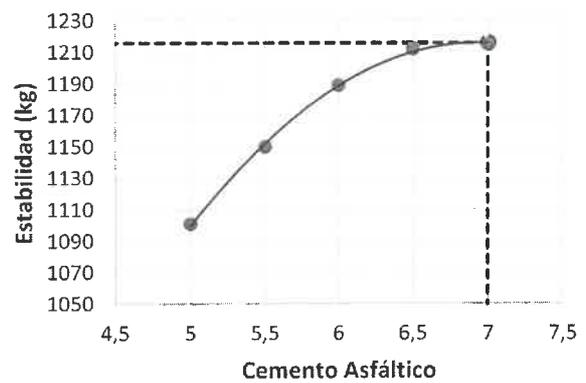
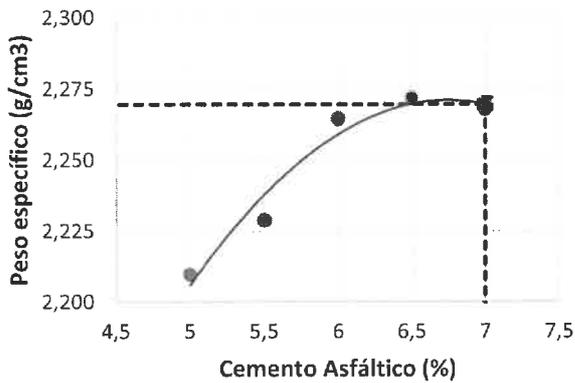


### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

ASTM D-6927 (2004)

### ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL



ING. RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019



### REPORTE DE ENSAYOS

SOLICITANTE : ORTIZ HUAMÁN ROMEL DANIEL MUESTRA : Agregados, asfalto y aditivo  
 TESIS DE GRADO : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA RODADURA INCORPORANDO POR VÍA SECA PEAD RECICLADO CANTIDAD : 300 - 350 kg.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.03.04. FECHA DE ENSAYO : Marzo - Abril 2019.

**ASTM D-6927 (2004) ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL**

**Características de la Mezcla :**

**MEZCLA ASFÁLTICA + 1,5 % PEAD (MAC-2)**

- Nº de golpes por cara	:								
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	:	6,8	7,0	7,2					
- Peso Específico bulk, g/cm <sup>3</sup>	:	2,271	2,270	2,267					
- Vacíos, %	:	5,4	5,0	4,6					
- Vacíos Llenos con Cemento Asfáltico, %	:	73,3	75,6	77,9					
- V.M.A., %	:	20,2	20,5	20,8					
- Estabilidad, kg (kN)	:	1215,5	(11,920)	1216,0	(11,925)	1214,0	(11,905)		
- Flujo, mm (10 <sup>-2</sup> pulg)	:	5,2	(20,5)	5,2	(20,5)	5,2	(20,5)		
- Absorción de Asfalto, %	:								
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	:	2334,0	(6,0)	2335,0	(6,0)	2331,0	(6,0)		
- Estabilidad Retenida, %	:			97,7					
- Índice de Compactabilidad	:			5,0					
- Temperatura de la Mezcla, °C	:			140 - 145					

**Proporciones de mezcla :**

(1) Agregado grueso, % **	:	35,0
(2) Agregado fino, % **	:	63,5
(3) PEAD, % **	:	1,5
(4) Aditivo, % ***	:	--

**Materiales :**

Tipo de Asfalto	:	PEN 60/70 PLUS TDM
Agregado grueso	:	Cantera "LA GLORIA"
Agregado fino	:	Cantera "LA GLORIA"
PEAD	:	Poliétileno de alta densidad reciclado

**Nota :**

- (\*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (\*\*) Porcentaje en peso de los agregados
- (\*\*\*) Porcentaje en peso del cemento asfáltico



ING RESPONSABLE  
 Lima, 17 de Mayo del 2019