



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UAC

TESIS

---

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN  
CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)  
RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO  
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-  
2022”**

---

Presentado por:

Palomino Cárdenas, Frine Tamara

Aguirre Tapia, Jean Claude

Para optar título profesional de Ingeniero Civil

Asesor: Mgt. Ing. Kildare Jussety Ascue Escalante

CUSCO – PERÚ

2022



## Dedicatorias

*A Dios, quien ilumina mi camino y me brinda la fortaleza para seguir adelante.*

*A mis padres Juan y Frine, quienes siempre me apoyaron y me brindaron amor incondicional, por sus consejos y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación, cada paso y meta lograda es fruto de vuestro esfuerzo y dedicación.*

*A mi hermano Juan Diego, quien estuvo en cada etapa de mi vida impulsándome a seguir creciendo como persona y profesional.*

*A mis tíos, Yanet y Marco, quienes siempre estuvieron pendientes de mí y me brindaron su apoyo incondicional.*

*A mis abuelos, Lucila y Teodosio, quienes siempre estuvieron pendientes de que todo me vaya bien.*

*A Milagros, quien siempre me brindó su apoyo, cariño y buenos deseos que me permitieron salir adelante.*

**Frine Tamara Palomino Cárdenas**



*A Dios que siempre esta presente en cada paso que doy y me ayuda a cumplir con todas mis metas.*

*A mis padres María y José que siempre me apoyaron en todo momento con su cariño, paciencia y me brindaron las fuerzas que necesitaba en todo momento para poder enfrentar cada obstáculo, ustedes son mi fortaleza y motivación en mi camino lo cual agradezco infinitamente.*

*A mis tíos Juan, Martha y Lucila, que siempre me brindaron su apoyo mostrando interés para superar este paso.*

*A mi abuelita María Salome que siempre estuvo conmigo en todo mi camino el cual estaré eternamente agradecido por lo que me brindo*

*A mi familia en general que siempre me estuvieron apoyándome para cumplir esta meta.*

**Jean Claude Aguirre Tapia**



## Agradecimientos

*A nuestros padres, por la confianza que depositaron en nosotros y por el apoyo en cada decisión que hemos tomado para nuestro crecimiento personal y profesional.*

*Al Mg. Ing. Kildare Jussety Ascue Escalante, nuestro asesor, por habernos guiado durante todo el desarrollo de la presente investigación.*

*Al Ing. Alfredo Curo Gómez, por su tiempo, su apoyo, y por ser nuestro guía en el desarrollo de esta presente investigación*

*Al laboratorio J&T Ingeotecnia Servicios Generales S.A.C, por habernos apoyado en la realización de nuestros ensayos.*

*Al personal de laboratorio de Suelos, concreto y pavimentos de la universidad andina del cusco por su colaboración en los ensayos realizados.*

*A nuestros amigos, quienes estuvieron a nuestro lado apoyándonos incondicionalmente y compartiendo su conocimiento.*

**Los Tesistas**



## Resumen

La presente investigación “EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022” tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo mediante ensayos de las características físicas y comportamiento mecánico (Densidad, Porcentaje de vacíos, Estabilidad, Flujo y Daño inducido por humedad) de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, haciendo uso de agregados de la región cusco y cemento asfáltico (PEN 85/100) proveniente de la planta de asfalto de COPESCO de la región Cusco.

Se realizó el control de calidad de los agregados mediante ensayos normalizados por el Manual de ensayo de Materiales, Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 y el Reglamento Nacional de Edificaciones CE.010 de Pavimentos Urbanos, para luego diseñar una mezcla asfáltica en caliente y determinar su contenido óptimo de asfalto mediante el diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente, considerando 6 porcentajes (4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%) respecto al peso total de la mezcla; una vez determinado el contenido óptimo de cemento asfáltico se procedió a determinar el contenido óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado utilizando 6 porcentajes (1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0% y 6.0%) respecto al peso total de la mezcla.

Para una mejor evaluación comparativa, realizamos mezclas asfálticas en caliente adicionales con 4 porcentajes de cemento asfáltico (5.50%, 6.0%, 6.5% y 7.0%) añadiéndole polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado en los 6 porcentajes ya mencionados, teniendo en cuenta que los 4 porcentajes de cemento asfálticos fueron tomados en función del porcentaje óptimo de cemento asfáltico determinado (6.33%).

Finalmente se realizó el análisis comparativo entre la mezcla asfáltica en caliente convencional y la mezcla asfáltica en caliente adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado en sus porcentajes óptimos, concluyendo que respecto a la estabilidad Marshall se tiene un incremento de 123.845 kg y respecto al daño inducido por humedad presenta una mejora de 5.7% en el porcentaje de TSR. Sin embargo, respecto a la densidad no se presenta incremento por lo cual no se tendría mayor rendimiento de duración, respecto al porcentaje de vacíos se tiene un incremento de 0.405 gr/cm<sup>3</sup> que se encuentra dentro del parámetro establecido y



respecto al flujo Marshall se presenta un incremento de 0.307 mm por lo cual no cumple con los requerimientos del Manual de Carreteras “Especificaciones Generales para la Construcción EG-2013”. Además, se concluyó también que al adicionar polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado a mezclas asfálticas de 5.5% y 6.0% de cemento asfáltico, cumplen con algunos requerimientos establecidos pero las mezclas asfálticas de 6.5% y 7.0% de cemento asfáltico no cumplen con las verificaciones de gravedad por lo cual no se consideró en las comparaciones.

Palabras claves: Polietileno de alta densidad reciclado, Estabilidad Marshall, Flujo Marshall, Resistencia al daño inducido por humedad, Densidad, Porcentaje de vacíos.



### Abstract

The present research "COMPARATIVE EVALUATION OF THE PHYSICAL CHARACTERISTICS AND MECHANICAL BEHAVIOR OF A HOT ASPHALTIC MIX ADDED WITH RECYCLED HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) WITH RESPECT TO A PATTERN SAMPLE USING ASPHALTIC CEMENT PEN 85/100, WITH AGGREGATES FROM THE CUSCO REGION-2022" has as main objective to carry out a comparative analysis by means of tests of the physical characteristics and mechanical behavior (Density, Percentage of voids, stability, flow and moisture induced damage) of a conventional asphalt mix versus an asphalt mix added with recycled high density polyethylene (HDPE), using aggregates from the Cusco region and asphalt cement (PEN 85/100) from the COPESCO asphalt plant in the Cusco region.

Quality control of the aggregates was carried out by means of standardized tests according to the Materials Testing Manual, the General Technical Specifications Manual for Road Construction EG-2013 and the National Building Regulation CE.010 of Urban Pavements, to then design a hot asphalt mix and determine its optimum asphalt content by means of the Marshall design for hot asphalt mixes, considering 6 percentages (4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% and 6.0%). Once the optimum asphalt cement content was determined, the optimum recycled high-density polyethylene (HDPE) content was determined using 6 percentages (1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0% and 6.0%) with respect to the total weight of the mixture.

For a better comparative evaluation, we made additional hot asphalt mixtures with 4 percentages of asphalt cement (5.50%, 6.0%, 6.5% and 7.0%) adding recycled high density polyethylene (HDPE) in the 6 percentages already mentioned, taking into account that the 4 percentages of asphalt cement were taken based on the optimal percentage of asphalt cement determined (6.33%).

Finally, a comparative analysis was made between the conventional hot mix asphalt and the hot mix asphalt added with recycled high-density polyethylene (HDPE) in its optimum percentages, concluding with respect to Marshall stability, there is an improvement of 123.845 kg and with respect to moisture-induced damage, there is an improvement of 5.7% in the percentage of TSR. However, with respect to the density, there is no increase in the percentage of TSR, so there would not be a higher durability performance, with respect to the percentage of voids, there is an increase of 0.405 gr/cm<sup>3</sup> which is within the established parameter and with respect to the Marshall flow, there is an increase of 0.307 mm, so it does not meet the requirements of the



Highway Manual "General Specifications for Construction EG-2013". In addition, it was also concluded that by adding recycled high-density polyethylene (HDPE) to asphalt mixtures of 5.5% and 6.0% of asphalt cement, they comply with some established requirements, but the asphalt mixtures of 6.5% and 7.0% of asphalt cement do not comply with the gravity verifications, so it was not considered in the comparisons.

Key words: Recycled high density polyethylene, Marshall stability, Marshall flow, Moisture induced damage resistance, Density, Void ratio.



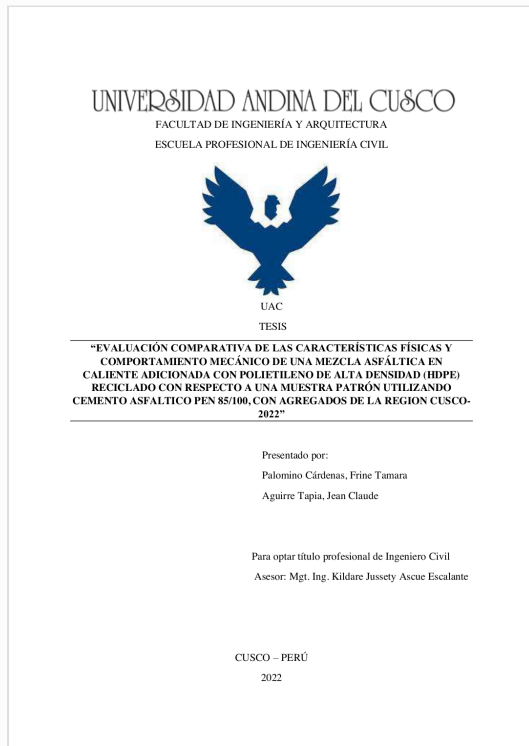


## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Tamara - Jean Palomino - Aguirre  
Assignment title: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSIC...  
Submission title: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSIC...  
File name: TESIS\_-\_PALOMINO\_C\_RDENAS\_-\_AGUIRRE\_TAPIA\_07-11-2022....  
File size: 9.51M  
Page count: 539  
Word count: 98,627  
Character count: 493,638  
Submission date: 11-Nov-2022 11:29AM (UTC-0500)  
Submission ID: 1951222246





# FISICAS Y COMPORTAMIENTO MECANICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUE

## ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1 Submitted to Universidad de Huanuco 2%  
Student Paper

2 repositorio.unap.edu.pe 1%  
Internet Source

3 docplayer.es 1%  
Internet Source

4 1library.co 1%  
Internet Source

5 updocs.net 1%  
Internet Source

6 qdoc.tips 1%  
Internet Source

7 tesis.unap.edu.pe 1%  
Internet Source

8 es.scribd.com



## Introducción

En el Perú y sus diferentes regiones, con la llegada de la pandemia de la covid-19, producida por el coronavirus SARS-coV-19, se ha multiplicado la producción y el consumo de material plástico como es el polietileno de alta densidad conocido por sus siglas: (HDPE), este plástico está presente en muchos productos como los frascos para productos de limpieza de casa, productos para el uso personal como los protectores faciales, este tipo de plásticos se desintegran en más de 150 años lo cual generará consecuencias nefastas para el medio ambiente, razón por la cual se pretende usar en la elaboración de mezclas asfálticas y que podría significar una alternativa de solución a este problema medio ambiental.

Debido al aumento del parque automotor, los pavimentos en la ciudad del Cusco presentan algunas fallas en su carpeta de rodadura como por ejemplo en varios tramos de la Prolongación de la Av. de la Cultura comprendidos entre el 4to paradero de San Sebastián y la Av. Los Sauces, según estudios realizados por las universidades UNSAAC y Universidad Andina del Cusco, concluyen que las fallas que se presentan en estos tramos son a causa del asfalto, razón por la cual la presente investigación pretende aportar un nuevo material para el diseño de mezclas asfálticas en este caso haciendo uso del reciclado del Polietileno de Alta Densidad HDPE, con el cual se pretende mejorar las características físicas de una mezcla y comportamiento mecánico de esta.

Como parte de la Investigación se diseñará una mezcla asfáltica patrón con cemento asfáltico PEN 85/100, de la cual determinará un contenido óptimo de asfalto. Con el mismo diseño se procederá a adicionar diferentes porcentajes de polietileno de alta densidad respecto al peso total de la mezcla asfáltica en caliente, el cual previamente pasará por un proceso de trituración, y se determinará el contenido óptimo del HDPE. Con el diseño obtenido se realizarán ensayos para determinar características físicas, y el comportamiento mecánico de las mezclas patrones y las modificadas, para así poder comparar sus resultados obtenidos.



## Índice general

<b>Dedicatorias .....</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>iii</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice general.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xxxviii</b>
<b>Capítulo I: Planteamiento del Problema.....</b>	<b>1</b>
1.1    Identificación del Problema.....	1
1.1.1    Descripción del problema.....	1
1.1.2    Formulación de la interrogativa del problema .....	2
1.2    Justificación e Importancia de la investigación .....	3
1.2.1    Justificación técnica .....	3
1.2.2    Justificación social .....	3
1.2.3    Justificación por vialidad .....	3
1.2.4    Justificación por relevancia .....	4
1.3    Limitaciones de la Investigación .....	4
1.4    Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1    Objetivo General .....	6
1.4.2    Objetivos Específicos .....	6
<b>Capítulo II: Marco Teórico .....</b>	<b>7</b>
2.1    Antecedentes de la tesis o Investigación Actual.....	7
2.1.1    Antecedentes a Nivel Nacional .....	7
2.1.2    Antecedentes a Nivel Internacional.....	9
2.2    Aspectos Teóricos Pertinentes.....	12
2.2.1    Pavimento.....	12
2.2.2    Mezclas Asfálticas.....	13
2.2.3    Materiales de las Mezclas Asfálticas .....	19
2.2.4    Diseño de Mezclas Asfálticas .....	29
2.2.5    Polietileno de Alta Densidad (HDPE).....	37
2.2.6    Polietileno reciclado .....	39



2.3	Hipótesis .....	42
2.3.1	Hipótesis general .....	42
2.3.2	Sub hipótesis .....	42
2.4	Definición de Variables .....	43
2.4.1	Variable Independiente .....	43
2.4.2	Variable Interviniente.....	43
2.4.3	Variable Dependiente .....	43
2.4.4	Cuadro de operaciones de variables .....	44
<b>Capítulo III: Metodología.....</b>		<b>45</b>
3.1	Metodología de la Investigación.....	45
3.1.1	Enfoque de la investigación .....	45
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación .....	45
3.1.3	Método de investigación .....	45
3.2	Diseño de la Investigación.....	45
3.2.1	Diseño metodológico.....	45
3.2.2	Diseño de Ingeniería.....	46
3.3	Población y Muestra .....	47
3.3.1	Población.....	47
3.3.2	Muestra.....	47
3.3.3	Criterios de inclusión .....	50
3.4	Instrumentos .....	51
3.4.1	Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos .....	51
3.4.2	Instrumentos de Ingeniería .....	77
3.5	Procedimientos de Recolección de Datos.....	79
3.5.1	Análisis de Agregado. ....	79
3.5.2	Análisis del Cemento Asfáltico.....	136
3.5.3	Ensayo de combinación de Agregados.....	140
3.5.4	Diseño de mezclas asfálticas por Método Marshall .....	141
3.5.5	Preparación y Ensayos de Mezclas asfálticas en caliente adicionadas con HDPE 178	
3.6	Procedimientos de Análisis de datos .....	247
3.6.1	Análisis de Agregado. ....	247
3.6.2	Combinación de Agregados .....	279



3.6.3	Análisis del Cemento Asfáltico.....	282
3.6.4	Diseño de especímenes Marshall .....	283
3.6.5	Diseño de mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) 312	
<b>Capítulo IV: Resultados.....</b>		<b>404</b>
4.1	Control de Calidad.....	404
4.1.1	Control de calidad del agregado grueso .....	404
4.1.2	Control de calidad de los agregados finos.....	405
4.1.3	Control de calidad del cemento asfáltico .....	406
4.1.4	Control de calidad de la mezcla asfáltica convencional y de la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado.....	406
4.1.5	Control de calidad de la mezcla asfáltica adicionada con porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado.....	416
4.2	Análisis de Costos Unitarios.....	421
<b>Capítulo V: Discusiones .....</b>		<b>423</b>
<b>Glosario .....</b>		<b>425</b>
<b>Nomenclatura .....</b>		<b>427</b>
<b>Abreviaturas .....</b>		<b>427</b>
<b>Conclusiones .....</b>		<b>428</b>
<b>Recomendaciones .....</b>		<b>431</b>
<b>Referencias.....</b>		<b>433</b>
<b>Anexos .....</b>		<b>435</b>



## Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación de los Pavimentos .....	13
Tabla 2: Clasificación de las mezclas asfálticas.....	15
Tabla 3: Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento .....	17
Tabla 4: Causas y efectos de un poco durabilidad en el pavimento.....	17
Tabla 5: Causas y efectos de la permeabilidad en el pavimento .....	18
Tabla 6: Causas y efectos de la mala resistencia a la fatiga en el pavimento .....	18
Tabla 7: Causas y efectos de la mala problemas en la trabajabilidad en el pavimento.....	19
Tabla 8: Propiedades de los agregados pétreos .....	20
Tabla 9: Requerimientos para los agregados gruesos .....	21
Tabla 10: Requerimientos para los agregados gruesos según la CE.010.....	21
Tabla 11: Requerimientos para los agregados finos.....	22
Tabla 12: Requerimientos para los agregados finos según la CE.010 .....	22
Tabla 13: Características del Cemento Asfáltico 85/100.....	27
Tabla 14: Rangos de temperatura de aplicación.....	28
Tabla 15: Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....	36
Tabla 16: Requisitos de porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA).....	36
Tabla 17: Requisitos de porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA).....	37
Tabla 18: Datos Técnicos del Polietileno de Alta Densidad (HDPE).....	38
Tabla 19: Separación y Selección de HDPE .....	40
Tabla 20: Molienda de HDPE .....	41
Tabla 21: Secado de Hojuelas de HDPE.....	42
Tabla 22: Matriz de Operacionalizacion de Variables .....	44
Tabla 23: Cantidad de muestras para mezclas asfálticas convencionales.....	48
Tabla 24: Cantidad de muestras para mezclas asfálticas adicionales con HDPE .....	49
Tabla 25: Cantidad total de muestras asfálticas .....	50
Tabla 26: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Grueso.....	52
Tabla 27: Formato de Recolección de Datos para Ensayo Análisis Granulométrico de Agregado Grueso – Curva Granulométrica. ....	53
Tabla 28: Formato de Recolección de Datos para Ensayo Abrasión los Ángeles al desgaste de los Agregados.....	54



Tabla 29: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Porcentaje de Partículas Fracturadas. ....	55
Tabla 30: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de Agregado Grueso.....	56
Tabla 31: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos .....	57
Tabla 32: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en Agregados Grueso .....	58
Tabla 33: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco.....	59
Tabla 34: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco.....	60
Tabla 35 :Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac .....	61
Tabla 36: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac .....	62
Tabla 37: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Determinación del Limite Liquido - Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad – Arena Triturada de Morro Blanco.....	63
Tabla 38: N Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Determinación del Limite Liquido - Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad – Arena Natura de Cunyac.....	64
Tabla 39: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Sodio Y Sulfato de Magnesio de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco.....	65
Tabla 40: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Sodio Y Sulfato de Magnesio de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac .....	66
Tabla 41: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos– Arena Triturada de Morro Blanco .....	67
Tabla 42: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos – Arena Natura de Cunyac .....	68
Tabla 43: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Método de Ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco .....	69





Tabla 44: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Método de Ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac.....	70
Tabla 45: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Granulometría de Combinación de Agregados Grueso - Fino .....	71
Tabla 46: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Granulometría de Combinación de Agregados Grueso y Fino – Curva Granulométrica.....	72
Tabla 47: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Penetración de Materiales Bituminosos.....	73
Tabla 48: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Peso Específico Aparente y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Saturados con Superficie Seca.....	74
Tabla 49: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall.....	75
Tabla 50: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por Humedad.....	76
Tabla 51: Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado grueso .....	77
Tabla 52: Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado fino.....	78
Tabla 53: Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al cemento asfáltico PEN 85/100	79
Tabla 54: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso .....	80
Tabla 55: Datos recolectados del ensayo de granulometría Agregado Grueso – Morro Blanco .....	83
Tabla 56: Gradación de las muestras de ensayo.....	85
Tabla 57: Numero de esferas según gradación.....	86
Tabla 58: recolección de datos del ensayo de Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados .....	88
Tabla 59: Peso mínimo de la muestra de ensayo para peso específico de agregado grueso ....	90
Tabla 60: Datos recolectados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos .....	92
Tabla 61: Pesos para usar en relación al tamiz que pasa y retenido.....	94
Tabla 62: Recolección de datos del ensayo durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso.....	98
Tabla 63: Peso mínimo usado para el ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas .....	99



Tabla 64: Datos recolectados del ensayo de determinación de porcentaje de partículas fracturadas con una cara fracturada.....	100
Tabla 65: Datos recolectados del ensayo de determinación de porcentaje de partículas fracturadas con dos o más caras fracturadas .....	100
Tabla 66: Peso mínimo de la muestra para ensayo .....	101
Tabla 67: Recolección de datos del ensayo de partículas chatas .....	103
Tabla 68: Recolección de datos del ensayo de partículas alargadas .....	104
Tabla 69: Materiales y equipos usados en el análisis granulométrico del agregado fino .....	104
Tabla 70: Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos – Morro Blanco .....	108
Tabla 71: Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos – Cunyac ....	108
Tabla 72: Recolección de datos del ensayo gravedad específica y absorción de agregados finos – Arena natural de Cunyac .....	116
Tabla 73: Recolección de datos del ensayo gravedad específica y absorción de agregados finos – Arena triturada de Morro Blanco .....	116
Tabla 74: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite líquido – Arena triturada de Morro Blanco.....	120
Tabla 75: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite líquido – Arena natural de Cunyac.....	120
Tabla 76: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite plástico – Arena triturada de Morro Blanco.....	122
Tabla 77: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite plástico – Arena natural de Cunyac .....	122
Tabla 78: Tamices normados usados para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.	123
Tabla 79: Datos recolectados del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio – Arena triturada de Morro Blanco.....	128
Tabla 80: Datos recolectados del ensayo de durabilidad al sulfato de Magnesio – Arena natural de Cunyac .....	128
Tabla 81: Recolección de datos del ensayo equivalente de arena – Arena triturada de Morro Blanco.....	135
Tabla 82: Recolección de datos del ensayo equivalente de arena – Arena natural de Cunyac .....	136
Tabla 83: Datos recolectados del ensayo de penetración de materiales bituminosos .....	139



Tabla 84: Recolección de datos del ensayo combinación de agregados .....	141
Tabla 85: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 4 % de cemento asfáltico .....	154
Tabla 86: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 4.5 % de cemento asfáltico .....	154
Tabla 87: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5 % de cemento asfáltico .....	154
Tabla 88: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico .....	155
Tabla 89: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6 % de cemento asfáltico .....	155
Tabla 90: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico .....	155
Tabla 91: Tabla N Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 4% de cemento asfáltico .....	162
Tabla 92: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 4.5% de cemento asfáltico .....	162
Tabla 93: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5% de cemento asfáltico .....	162
Tabla 94: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico .....	163
Tabla 95: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico .....	163
Tabla 96: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico .....	163
Tabla 97: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4% de cemento asfáltico .....	164
Tabla 98: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4.5% de cemento asfáltico .....	164
Tabla 99: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5% de cemento asfáltico .....	164
Tabla 100: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico .....	165



Tabla 101: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico .....	165
Tabla 102: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico .....	165
Tabla 103: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4% de cemento asfáltico .....	166
Tabla 104: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4.5% de cemento asfáltico .....	166
Tabla 105: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5% de cemento asfáltico .....	166
Tabla 106: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico .....	167
Tabla 107: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico .....	167
Tabla 108: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico .....	167
Tabla 109: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto en condición seca .....	177
Tabla 110: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto en condición saturada .....	177
Tabla 111: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	192
Tabla 112: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE .....	192
Tabla 113: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE .....	192
Tabla 114: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE .....	193
Tabla 115: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE .....	193
Tabla 116: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE .....	193



Tabla 117: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	194
Tabla 118: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE .....	194
Tabla 119: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE .....	194
Tabla 120: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE .....	195
Tabla 121: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE .....	195
Tabla 122: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE .....	195
Tabla 123: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	196
Tabla 124: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE .....	196
Tabla 125: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE .....	196
Tabla 126: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE .....	197
Tabla 127: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE .....	197
Tabla 128: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE .....	197
Tabla 129: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	198
Tabla 130: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE .....	198
Tabla 131: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE .....	198
Tabla 132: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE .....	199



Tabla 133: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE .....	199
Tabla 134: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE .....	199
Tabla 135: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	200
Tabla 136: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE .....	200
Tabla 137: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE .....	200
Tabla 138: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE .....	201
Tabla 139: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE .....	201
Tabla 140: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE .....	201
Tabla 141: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	207
Tabla 142: N Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	207
Tabla 143: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	207
Tabla 144: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	208
Tabla 145: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	208
Tabla 146: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	208
Tabla 147: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	209
Tabla 148: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	209



Tabla 149: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	209
Tabla 150: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	210
Tabla 151: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	210
Tabla 152: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	210
Tabla 153: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	211
Tabla 154: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	211
Tabla 155: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	211
Tabla 156: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	212
Tabla 157: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	212
Tabla 158: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	212
Tabla 159: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	213
Tabla 160: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	213
Tabla 161: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	213
Tabla 162: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	214
Tabla 163: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	214
Tabla 164: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	214



Tabla 165: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	215
Tabla 166: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	215
Tabla 167: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	215
Tabla 168: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	216
Tabla 169: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	216
Tabla 170: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	216
Tabla 171: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	217
Tabla 172: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	217
Tabla 173: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	217
Tabla 174: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	218
Tabla 175: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	218
Tabla 176: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	218
Tabla 177: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	219
Tabla 178: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	219
Tabla 179: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	219
Tabla 180: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	220





Tabla 181: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	220
Tabla 182: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	220
Tabla 183: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	221
Tabla 184: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	221
Tabla 185: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	221
Tabla 186: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	222
Tabla 187: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	222
Tabla 188: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	222
Tabla 189: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	223
Tabla 190: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	223
Tabla 191: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	223
Tabla 192: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	224
Tabla 193: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	224
Tabla 194: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	224
Tabla 195: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	225
Tabla 196: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	225



Tabla 197: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	225
Tabla 198: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	226
Tabla 199: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	226
Tabla 200: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	226
Tabla 201: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	227
Tabla 202: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE .....	227
Tabla 203: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE .....	227
Tabla 204: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE .....	228
Tabla 205: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE .....	228
Tabla 206: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE .....	228
Tabla 207: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	229
Tabla 208: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	229
Tabla 209: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	229
Tabla 210: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	230
Tabla 211: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	230
Tabla 212: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	230



Tabla 213: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	231
Tabla 214: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	231
Tabla 215: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	231
Tabla 216: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	232
Tabla 217: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	232
Tabla 218: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	232
Tabla 219: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE .....	233
Tabla 220: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	233
Tabla 221: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	233
Tabla 222: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	234
Tabla 223: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	234
Tabla 224: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	234
Tabla 225: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE.....	235
Tabla 226: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE.....	235
Tabla 227: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE.....	235
Tabla 228: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE.....	236



Tabla 229: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE.....	236
Tabla 230: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE.....	236
Tabla 231: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE en condición seca.....	246
Tabla 232: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE en condición saturada .....	246
Tabla 233: Gradación para mezcla asfáltica en caliente MAC .....	247
Tabla 234: Cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según MAC-2 .....	248
Tabla 235: Resultado del ensayo de Abrasión los ángeles al desgaste .....	250
Tabla 236: Requerimientos para agregado grueso para el ensayo de abrasión los ángeles ...	250
Tabla 237: Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos .....	254
Tabla 238: Requerimientos para los agregados grueso para pavimento de concreto asfáltico en caliente .....	255
Tabla 239: Perdida total del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio .....	256
Tabla 240: Requerimientos para durabilidad al sulfato de magnesio de agregado grueso ....	256
Tabla 241: Resultados del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas para una cara .....	257
Tabla 242: Resultados del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas para dos o más caras .....	257
Tabla 243: Requerimiento de calidad para el ensayo de porcentaje de caras fracturadas .....	258
Tabla 244: Calculo del índice de alargamiento .....	259
Tabla 245: Calculo del índice de aplanamiento .....	260
Tabla 246: Sumatoria de índice de alargamiento y aplanamiento .....	260
Tabla 247: Requerimientos para partículas chatas y alargadas en agregados.....	260
Tabla 248: Cálculo de análisis granulométrico del agregado fino de Morro Blanco según MAC-2.....	262
Tabla 249: Cálculo de análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac según MAC-2263	
Tabla 250: Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la Arena Triturada de Morro Blanco .....	271
Tabla 251: Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la Arena Natural de Cunyac .....	271



Tabla 252: Requerimientos para ensayo de peso específico y absorción – Arena Triturada de Morro Blanco .....	271
Tabla 253: Requerimientos para ensayo de peso específico y absorción – Arena Natural de Cunyac.....	272
Tabla 254: Resultados del ensayo de Limite plástico e índice de plasticidad de los agregados finos.....	273
Tabla 255: Requerimiento de calidad para el ensayo de Limite plástico e índice de plasticidad .....	273
Tabla 256: Durabilidad al Sulfato de Magnesio - Arena triturada de Morro Blanco.....	274
Tabla 257: Durabilidad al Sulfato de Magnesio - Arena natural de Cunyac .....	274
Tabla 258: Requerimiento de calidad para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio de agregado fino.....	275
Tabla 259: Resultado del ensayo de Equivalente de Arena para Arena Triturada de Morro Blanco.....	277
Tabla 260: Resultado del ensayo de Equivalente de Arena para Arena Natural de Cunyac..	277
Tabla 261: Requerimientos para ensayo de equivalente de arena – Arena Triturada de Morro Blanco.....	278
Tabla 262: Requerimientos para ensayo de equivalente de arena – Arena Natural de Cunyac .....	278
Tabla 263: Combinación Granulométrica de Agregados .....	280
Tabla 264: Combinación Granulométrica de Agregados – Curva Granulométrica.....	281
Tabla 265: Resultados del ensayo de penetración de materiales bituminosos .....	282
Tabla 266: Máxima diferencia entre la penetración más alta y la más baja.....	282
Tabla 267: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico ...	283
Tabla 268: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	283
Tabla 269: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .	284
Tabla 270: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	284
Tabla 271: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 5 de cemento asfáltico .....	285
Tabla 272: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	285
Tabla 273: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico .	286



Tabla 274: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico .....	286
Tabla 275: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico ....	287
Tabla 276: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico .....	287
Tabla 277: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico .	288
Tabla 278: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico .....	288
Tabla 279: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	290
Tabla 280: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	290
Tabla 281: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	290
Tabla 282: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	291
Tabla 283: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	291
Tabla 284: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	291
Tabla 285: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	292
Tabla 286: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	292
Tabla 287: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	293
Tabla 288: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	293
Tabla 289: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	293
Tabla 290: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	294



Tabla 291: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico .....	294
Tabla 292: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico.....	294
Tabla 293: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico .....	295
Tabla 294: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico.....	295
Tabla 295: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico .....	296
Tabla 296: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico .....	296
Tabla 297: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico.....	296
Tabla 298: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico.....	297
Tabla 299: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico .....	297
Tabla 300: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico.....	297
Tabla 301: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico .....	298
Tabla 302: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico.....	298
Tabla 303: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4 % de cemento asfáltico .....	299
Tabla 304: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	299
Tabla 305: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico .....	300
Tabla 306: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	300



Tabla 307: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico .....	301
Tabla 308: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico.....	301
Tabla 309: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	302
Tabla 310: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	302
Tabla 311: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico .....	302
Tabla 312: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico .....	303
Tabla 313: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico .....	303
Tabla 314: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico.....	304
Tabla 315: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico .....	304
Tabla 316: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico .....	305
Tabla 317: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico .....	305
Tabla 318: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico .....	306
Tabla 319: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico .....	306
Tabla 320: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico.....	306
Tabla 321: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto con 6.33% en condición seca:.....	310
Tabla 322: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto con 6.33% en condición saturada .....	310
Tabla 323: Resultado del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión.....	311





Tabla 324: Resultado del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión.....	311
Tabla 325: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE .....	312
Tabla 326: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE .....	312
Tabla 327: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 2% de HDPE .....	313
Tabla 328: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 2% de HDPE .....	313
Tabla 329: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 3% de HDPE .....	314
Tabla 330: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 3% de HDPE .....	314
Tabla 331: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 4% de HDPE .....	315
Tabla 332: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 4% de HDPE .....	315
Tabla 333: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 5% de HDPE .....	316
Tabla 334: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 5% de HDPE .....	316
Tabla 335: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 6% de HDPE .....	317
Tabla 336: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 6% de HDPE .....	317
Tabla 337: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE .....	318
Tabla 338: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE .....	318
Tabla 339: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE .....	319



Tabla 340: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE.....	319
Tabla 341: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE .....	320
Tabla 342: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE .....	320
Tabla 343: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE .....	320
Tabla 344: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE.....	321
Tabla 345: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE .....	321
Tabla 346: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE .....	321
Tabla 347: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE .....	322
Tabla 348: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE.....	322
Tabla 349: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE .....	323
Tabla 350: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE .....	323
Tabla 351: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE .....	323
Tabla 352: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE.....	324
Tabla 353: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE .....	324
Tabla 354: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE .....	325



Tabla 355: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE .....	325
Tabla 356: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE.....	325
Tabla 357: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE .....	326
Tabla 358: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE .....	326
Tabla 359: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE .....	327
Tabla 360: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE.....	327
Tabla 361: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE .....	328
Tabla 362: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE .....	328
Tabla 363: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE.....	329
Tabla 364: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE .....	329
Tabla 365: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE .....	330
Tabla 366: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE.....	330
Tabla 367: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE .....	331
Tabla 368: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE .....	331
Tabla 369: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE.....	332



Tabla 370: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE .....	332
Tabla 371: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE .....	333
Tabla 372: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE.....	333
Tabla 373: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE .....	334
Tabla 374: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE .....	334
Tabla 375: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE.....	335
Tabla 376: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE .....	335
Tabla 377: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE .....	336
Tabla 378: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE.....	336
Tabla 379: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto del 6.33%, adicionado con 1% de HDPE en condición seca....	341
Tabla 380: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto con 6.33%, adicionado con 1% de HDPE en condición saturada .....	342
Tabla 381: Resultado del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión de una mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto, adicionado con 1% de HDPE. ....	342
Tabla 382: Requerimiento para el ensayo de resistencia al daño inducido por humedad para una muestra con 6.33% de asfalto, adicionado con 1% de HDPE.....	343
Tabla 383: Dosificación de mezcla asfáltica con 5.5 % de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3%, de HDPE.....	344
Tabla 384: Dosificación de mezcla asfáltica con 5.5 % de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE.....	345
Tabla 385: Gravedad especifica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfaltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	346



Tabla 386: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	347
Tabla 387: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	348
Tabla 388: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	349
Tabla 389: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	350
Tabla 390: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	351
Tabla 391: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3% y 4% de HDPE. ....	352
Tabla 392: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	353
Tabla 393: Tabla N Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	354
Tabla 394: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	355
Tabla 395: Dosificación de mezcla asfáltica con 6% de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	359
Tabla 396: Dosificación de mezcla asfáltica con 6% de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	360
Tabla 397: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3%, de HDPE. ....	361
Tabla 398: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	362
Tabla 399: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	363
Tabla 400: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	364



Tabla 401: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	365
Tabla 402: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 5% y 6% de HDPE. ....	366
Tabla 403: Tabla N verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	367
Tabla 404: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	368
Tabla 405: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3% de HDPE.....	369
Tabla 406: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.....	370
Tabla 407: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3% de HDPE.....	374
Tabla 408: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE.....	375
Tabla 409: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	376
Tabla 410: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	377
Tabla 411: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	378
Tabla 412: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	379
Tabla 413: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	380
Tabla 414: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	381



Tabla 415: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	382
Tabla 416: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	383
Tabla 417: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.....	384
Tabla 418: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.....	385
Tabla 419: Dosificación de mezcla asfáltica con 7% de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	389
Tabla 420: Dosificación de mezcla asfáltica con 7% de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	390
Tabla 421: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.....	391
Tabla 422: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.....	392
Tabla 423: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE .....	393
Tabla 424: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado 4%, 5% y 6% de HDPE.....	394
Tabla 425: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.....	395
Tabla 426: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.....	396
Tabla 427: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE. ....	397
Tabla 428: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE. ....	398
Tabla 429: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.....	399



Tabla 430: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.....	400
Tabla 431: Resultados de control de calidad del agregado grueso (Piedra chancada de Morro Blanco) .....	404
Tabla 432: Resultados de control de calidad del agregado fino (Arena Triturada de Morro Blanco) .....	405
Tabla 433: Resultados de control de calidad del agregado fino (Arena Natural de Cunyac)	405
Tabla 434: Resultados de control de calidad del cemento asfáltico PEN 85/100 .....	406
Tabla 435: Comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos.....	410
Tabla 436: Comparación de la estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos .....	414
Tabla 437: Comparación de resultados de la resistencia al daño inducido por humedad de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en porcentajes óptimos.....	415
Tabla 438: Comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE en su porcentaje óptimo. ....	418
Tabla 439: Comparación de la estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE en su porcentaje óptimo .....	420
Tabla 440: Análisis de Costos Unitarios de una preparación de mezcla asfáltica en caliente convencional.....	421
Tabla 441: Análisis de Costos Unitarios de una preparación de mezcla asfáltica en caliente adicionado con HDPE reciclado .....	422





## Índice de figuras

Figura 1: Venta de vehículos livianos nuevos, por oficina registral .....	1
Figura 2: Mapa político del departamento del Cusco .....	2
Figura 3: Pavimento .....	13
Figura 4: Cemento asfáltico .....	28
Figura 5: Penetrómetro de asfalto .....	29
Figura 6: Procedimiento - Metodología Marshall .....	30
Figura 7: Gravedades específicas bulk, efectiva y aparente, vacíos de aire y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas .....	32
Figura 8: Polietileno de alta densidad (HDPE) .....	39
Figura 9: Clasificación del Polietileno .....	39
Figura 10: Flujograma de diseño de ingeniería: .....	46
Figura 11: Materiales y equipos usados en el análisis granulométrico del agregado grueso... ..	79
Figura 12: Recolección de Agregado grueso de la cantera de Morro Blanco .....	80
Figura 13: Cuarteo de agregado grueso de Morro Blanco. ....	81
Figura 14: Muestra representativa de agregado grueso a ensayar.....	81
Figura 15: Colocación de la muestra representativa a la serie de tamices normalizados.....	82
Figura 16: Extracción del material retenido en cada tamiz.....	82
Figura 17: Gradación de agregado grueso de Morro Blanco. ....	83
Figura 18: Equipos y materiales – Ensayo abrasión los ángeles al desgaste de los agregados	84
Figura 19: Agregado tamizado 3/4” - 1/2” .....	85
Figura 20: Agregado tamizado 1/2” - 3/8” .....	86
Figura 21: Muestra restante en la Maquina los ángeles .....	87
Figura 22: Muestra tamizada por la malla #12.....	87
Figura 23: Muestra restante secada en horno .....	88
Figura 24: Materiales y equipos usados en el peso específico y absorción de agregados gruesos.....	89
Figura 25: Lavado de material retenido .....	89
Figura 26: Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.....	90
Figura 27: Material sumergido en agua.....	91
Figura 28: Secado del material saturado superficialmente seco. ....	91
Figura 29: Colocación del material en la cesta metálica .....	92



Figura 30: Equipos y materiales – Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso. ....	93
Figura 31: Peso de la muestra retenido en la malla ½” .....	94
Figura 32: Preparación del sulfato de magnesio .....	95
Figura 33: Muestras que se ensayaran.....	96
Figura 34: Colocación de Sulfato de Magnesio en el Agregado Grueso .....	96
Figura 35: Agregado grueso sumergido en Sulfato de Magnesio .....	97
Figura 36: Muestras con sulfato de magnesio en el horno .....	97
Figura 37: Materiales y equipos usados en la determinación del porcentaje de partículas fracturadas .....	98
Figura 38: Partículas fracturadas separadas en grupo .....	99
Figura 39: Equipos y materiales – Ensayo partículas chatas y alargadas en agregados .....	101
Figura 40: Cuarteo para obtener una muestra representativa.....	102
Figura 41: Muestras pesadas y tamizadas .....	102
Figura 42: Muestra pesada .....	103
Figura 43: Cuarteo de la arena triturada de Morro Blanco .....	105
Figura 44: Cuarteo de la Arena natural de Cunyac .....	105
Figura 45: Colocación del material en la serie tamices.....	106
Figura 46: Material retenido en el tamiz N°200.....	106
Figura 47: Gradación de la Arena triturada de Morro Blanco .....	107
Figura 48: Gradación de la Arena natural de Cunyac .....	107
Figura 49: Equipos y materiales – Gravedad específica y absorción de agregados finos.....	109
Figura 50: Cuarteo de la arena triturada de Morro blanco .....	110
Figura 51: Cuarteo de la arena natural de Cunyac .....	110
Figura 52: Muestras de Agregado fino sumergidas en agua .....	111
Figura 53: Muestra expandida en una bandeja.....	111
Figura 54: Secado de la muestra con secador. ....	112
Figura 55: Muestra en condición Saturada Superficialmente Seco.....	112
Figura 56: Peso de la fiola vacía .....	113
Figura 57: Llenado de la fiola con 500gr de agregado fino .....	113
Figura 58: Fiola con muestra de agregado fino.....	114
Figura 59: Peso de la fiola con muestra de agregado fino .....	114
Figura 60: Vaciado de fiola.....	115



Figura 61: Peso de Agregado fino Seco .....	115
Figura 62: Materiales y equipos usados para la determinación del límite líquido de la arena .....	117
Figura 63: Tamizado del material por la malla N°40.....	117
Figura 64: Calibración de la cuchara de Casagrande .....	118
Figura 65: Mezclado de la muestra con agua .....	118
Figura 66: Muestra colocada en la cuchara de Casagrande .....	119
Figura 67: Acanalado de material sobre la cuchara de Casagrande .....	119
Figura 68: Materiales y equipos usados para la determinación del límite plástico e índice de plasticidad.....	121
Figura 69: Formación de cilindros alargados .....	121
Figura 70: Materiales y equipos usados en la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino .....	123
Figura 71: Sulfato de magnesio en forma anhidra .....	124
Figura 72: Preparación de la solución de sulfato de magnesio .....	124
Figura 73: Arena triturada de Morro Blanco separada por tamices para realizar el ensayo ..	125
Figura 74: Arena natural de Cunyac separada por tamices para realizar el ensayo .....	125
Figura 75: Agregados finos sumergidos en la solución de sulfato de magnesio.....	126
Figura 76: Muestras extraídas del horno .....	126
Figura 77: Sumersión de las muestras en el sulfato de magnesio .....	127
Figura 78: Muestras del ensayo de durabilidad en el horno.....	127
Figura 79: Equipos y materiales – Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino. ....	130
Figura 80: Mezclado de Material .....	131
Figura 81: Eliminación del material excedente de la parte superior del envase .....	131
Figura 82: Envases con agregado fino .....	132
Figura 83: Llenado de cloruro cálcico en el cilindro .....	132
Figura 84: Cilindro de plástico con Cloruro cálcico .....	133
Figura 85: Colocación de material en los cilindros plásticos.....	133
Figura 86: Cilindros plásticos reposando durante 10 min.....	134
Figura 87: Cilindros listos para la lectura de arcilla.....	134
Figura 88: Uso de pisón para la lectura arena. ....	135
Figura 89: Materiales y equipos usados en la penetración de los materiales bituminosos ....	136



Figura 90: Separación de cemento asfáltico PEN 85/100 a ensayar .....	137
Figura 91: Cemento asfáltico PEN 85/100 en baño maría .....	137
Figura 92: Toma de temperatura del cemento asfáltico PEN 85/100 .....	138
Figura 93: Ensayo de penetración del cemento asfáltico PEN 85/100 .....	138
Figura 94: Muestras del ensayo de penetración de materiales bituminosos .....	139
Figura 95: Figura N Equipos y materiales – Análisis granulométrico de combinación de agregados.....	140
Figura 96: Equipos y materiales – Diseño de Mezclas asfálticas convencionales usando método Marshall.....	143
Figura 97: Agregado de cantera de Morro Blanco .....	143
Figura 98: Tamizado de Agregados .....	144
Figura 99: Separación de Agregados por tamiz .....	144
Figura 100: Pesaje de los agregados por tamiz de acuerdo al diseño .....	145
Figura 101: Moldes y agregados en horno .....	145
Figura 102: Asfalto en cocina en temperatura de 120°C – 140°C .....	146
Figura 103: Pesaje del cemento asfáltico según el diseño. ....	146
Figura 104: Adición del filler a la mezcla.....	147
Figura 105: Molde Marshall con papel filtro .....	147
Figura 106: Vertido de la mezcla al molde Marshall .....	148
Figura 107: Colocando el Molde en el martillo automático.....	148
Figura 108: Molde con papel filtro y dejando enfriar. ....	149
Figura 109: Eyección del espécimen.....	149
Figura 110: Muestras asfálticas con porcentajes 4% - 6.5% .....	150
Figura 111: Muestras asfálticas convencionales. ....	150
Figura 112: Equipos y materiales – Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas .....	151
Figura 113: Peso seco de los especímenes convencionales .....	152
Figura 114: Muestras sumergidas en Baño María a 25°C .....	152
Figura 115: Peso Superficialmente seca de la muestra. ....	153
Figura 116: Peso del espécimen en la canastilla de flotación .....	153
Figura 117: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall.....	156
Figura 118: Especímenes Marshall convencionales.....	157



Figura 119: Toma de datos de altura y diámetro de las muestras .....	157
Figura 120: Temperatura de especímenes Marshall en Baño María .....	158
Figura 121: Temperatura del cabezal de rotura.....	158
Figura 122: Espécimen Marshall retirada de Baño María.....	159
Figura 123: Espécimen Marshall puesta en el cabezal de rotura. ....	159
Figura 124: Alineamiento del cabezal de rotura, así como medidor de flujo .....	160
Figura 125: Datos de estabilidad y flujo. ....	160
Figura 126: Rotura de especímenes con aparato Marshall.....	161
Figura 127: Ensayo de Estabilidad y Flujo. ....	161
Figura 128: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas asfálticas patrón compactadas al daño inducido por humedad .....	169
Figura 129: Llenado del recipiente de aluminio con la mezcla asfáltica .....	169
Figura 130: Recipientes de aluminio con mezclas asfálticas .....	170
Figura 131: Recipientes con mezcla asfáltica en horno a 140°C .....	170
Figura 132: Vertido de mezcla asfáltica en el molde Marshall.....	171
Figura 133: Colocado del molde en el martillo compactador .....	171
Figura 134: Eyección de muestras asfálticas.....	171
Figura 135: Muestras asfálticas en Baño María a 25°C .....	172
Figura 136: Muestra asfáltica en el cabezal de rotura diametral.....	173
Figura 137: Fisura vertical de la muestra asfáltica.....	173
Figura 138: Muestras asfálticas sumergidas.....	174
Figura 139: Muestras asfálticas en bolsa plástica. ....	174
Figura 140: Muestras asfálticas en congeladora .....	175
Figura 141: Muestras asfálticas en Baño María a 25°C .....	175
Figura 142: Muestra asfáltica con cabezal de rotura diametral.....	176
Figura 143: Toma de datos de muestra asfáltica. ....	176
Figura 144: Equipos y materiales – Diseño de Mezclas asfálticas adicionadas con HDPE usando método Marshall .....	179
Figura 145: Agregado de cantera de Morro Blanco .....	180
Figura 146: Tamizado de Agregados .....	180
Figura 147: Separación de Agregados por tamiz .....	181
Figura 148: Pesaje de los agregados por tamiz de acuerdo al diseño .....	181
Figura 149: Polietileno de Alta Densidad (HDPE) reciclado .....	182



Figura 150: Moldes y agregados en horno .....	182
Figura 151: Asfalto en cocina en temperatura de 120°C – 140°C.....	183
Figura 152: Pesaje del cemento asfáltico según el diseño. ....	183
Figura 153: Adición del filler a la mezcla.....	184
Figura 154: Polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado .....	184
Figura 155: Adición del polietileno de alta densidad reciclado a la mezcla.....	185
Figura 156: Molde Marshall con papel filtro .....	185
Figura 157: Mezcla dentro del molde y chuseo .....	186
Figura 158: Molde colocado en el martillo automático .....	186
Figura 159: Molde con papel filtro y espécimen enfriando. ....	187
Figura 160: Eyección de muestras adicionales con HDPE .....	187
Figura 161: Muestras asfálticas adicionales con HDPE reciclado.....	188
Figura 162: Muestras asfálticas adicionales con HDPE. ....	188
Figura 163: Equipos y materiales – Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE compactadas .....	189
Figura 164: Muestras adicionales con HDPE - ensayo de peso específico.....	190
Figura 165: Muestras adicionales con HDPE sumergidas en Baño María .....	190
Figura 166: Peso Superficialmente seca de la muestra adicionada con HDPE.....	191
Figura 167: Muestra asfáltica adicionada con HDPE en canastilla de flotación .....	191
Figura 168: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall (mezclas asfálticas adicionadas con HDPE) .....	202
Figura 169: Especímenes Marshall adicionales con HDPE reciclado .....	203
Figura 170: Toma de datos de altura y diámetro de las muestras adicionadas con HDPE ....	203
Figura 171: Temperatura de especímenes Marshall adicionadas con HDPE en Baño María	204
Figura 172: Temperatura del cabezal de rotura.....	204
Figura 173: Especímen Marshall adicionado con HDPE retirado de Baño María.....	205
Figura 174: Colocado del espécimen adicionado con HDPE .....	205
Figura 175: Toma de datos de estabilidad y flujo. ....	206
Figura 176: Ensayo de Estabilidad y Flujo. ....	206
Figura 177: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE compactadas al daño inducido por humedad.....	238
Figura 178: Llenado del recipiente de aluminio con la mezcla asfáltica adicionada con HDPE .....	239



Figura 179: Recipientes de aluminio con mezclas asfálticas adicionada con HDPE.....	239
Figura 180: Vertido de mezcla asfáltica adicionada con HDPE en el molde Marshall .....	240
Figura 181: Colocado del molde con la muestra en el martillo compactador.....	240
Figura 182: Eyección de muestras asfálticas adicionas con HDPE .....	241
Figura 183: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE en Baño María.....	241
Figura 184: Muestra asfáltica adicionada con HDPE en el cabezal de rotura diametral .....	242
Figura 185: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE sumergidas .....	243
Figura 186: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE en bolsa plástica. ....	243
Figura 187: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE en congeladora .....	244
Figura 188: Muestras asfálticas adicionas con HDPE en Baño María a 25°C .....	244
Figura 189: Muestra asfáltica adicionada con HDPE en el cabezal de rotura diametral. ....	245
Figura 190: Toma de datos de muestra asfáltica adicionada con HDPE .....	245
Figura 191: Curva granulométrica del análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según MAC-2.....	249
Figura 192: Curva granulometría del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco .....	264
Figura 193: Curva granulometría del agregado fino-Arena natural de Cunyac.....	265
Figura 194: Contenido optimo según porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica 4.00%.....	307
Figura 195: Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para el contenido óptimo de asfalto 6.33% .....	307
Figura 196: Valor del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para el contenido óptimo de asfalto 6.33% .....	308
Figura 197: Valor del peso específico para el contenido óptimo de asfalto 6.33% .....	308
Figura 198: Valor de la Estabilidad para el contenido óptimo de asfalto del 6.33% .....	309
Figura 199: Valor de la Flujo para el contenido óptimo de asfalto del 6.33%.....	309
Figura 200: Contenido optimo según porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica adicionada con HDPE, con un valor de 4.412% VTM. ....	337
Figura 201: Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE.....	337
Figura 202: Valor del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE.....	338
Figura 203: Valor del peso específico para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE .....	338



Figura 204: Valor de la Estabilidad para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE..	339
Figura 205: Valor del Flujo para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE .....	339
Figura 206: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	356
Figura 207: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	356
Figura 208: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	357
Figura 209: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE.....	357
Figura 210: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	358
Figura 211: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	358
Figura 212: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	371
Figura 213: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	371
Figura 214: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	372
Figura 215: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE.....	372
Figura 216: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	373
Figura 217: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	373
Figura 218: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	386
Figura 219: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE.....	386
Figura 220: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	387





Figura 221: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE.....	387
Figura 222: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	388
Figura 223: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	388
Figura 224: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	401
Figura 225: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	401
Figura 226: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	402
Figura 227: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE.....	402
Figura 228: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	403
Figura 229: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE .....	403
Figura 230: Variación del peso específico de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.....	406
Figura 231: Variación del VTM de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.....	407
Figura 232: Variación del VFA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.....	407
Figura 233: Variación del VMA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.....	408
Figura 234: Variación del peso específico de las mezclas asfálticas con porcentaje optimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE.....	408
Figura 235: Variación del VTM de las mezclas asfálticas con porcentaje optimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE .....	409
Figura 236: Variación del VFA de las mezclas asfálticas con porcentaje optimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE .....	409



Figura 237: Variación del VMA de las mezclas asfálticas con porcentaje optimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE .....	410
Figura 238: Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.....	411
Figura 239: Variación del flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto .....	412
Figura 240: Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto.....	412
Figura 241: Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición.....	413
Figura 242: Variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición .....	413
Figura 243: Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición .....	414
Figura 244: Variación del peso específico de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto.....	416
Figura 245: Variación del VTM de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto.....	416
Figura 246: Variación del VFA de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto.....	417
Figura 247: Variación del VMA de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto.....	417
Figura 248: Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto.....	419
Figura 249: Variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto.....	419
Figura 250: Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto .....	420

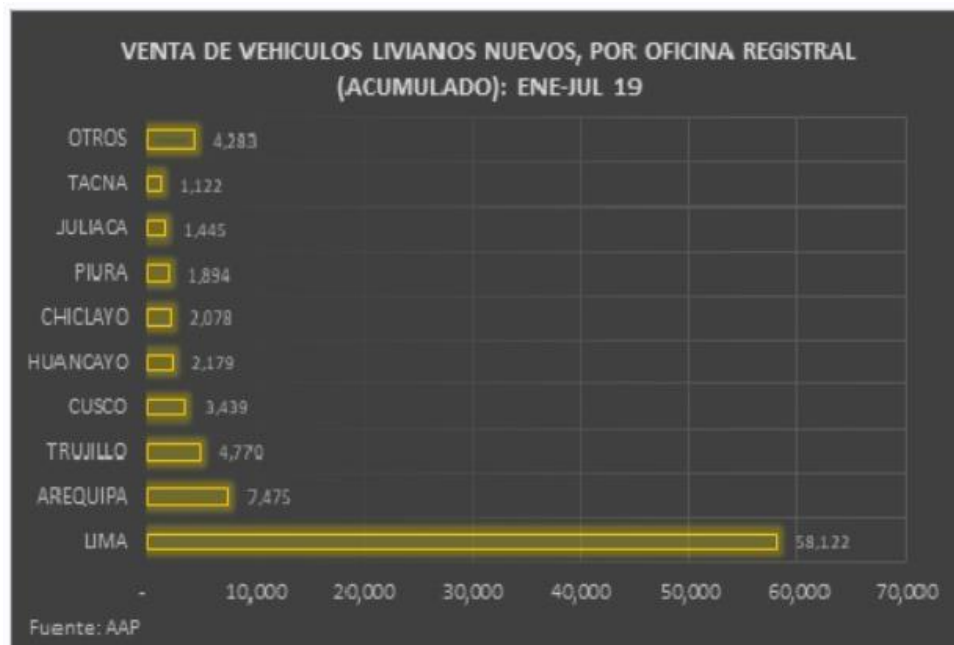
## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1 Identificación del Problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

Según la Asociación Automotriz del Perú, el Cusco es la cuarta ciudad donde más vehículos nuevos se venden, teniendo como categoría más demandada la de vehículos menores con 52.01%, seguida por vehículos livianos con 44.72%, y finalmente vehículos pesados con 3.27%. Siendo esto muy significativo ya que al generarse un crecimiento del parque automotor se evidencian fallas en los diferentes pavimentos de nuestra ciudad, generando un malestar a todos los usuarios.

(Asociación Automotriz del Perú,2019)



*Figura 1: Venta de vehículos livianos nuevos, por oficina registral*

*Fuente: Asociación Automotriz del Perú*

Para afrontar esta situación se requiere realizar pavimentos más duraderos, por lo cual es necesaria la búsqueda de nuevos recursos que permitan alcanzar una gran mejora en el comportamiento de los pavimentos, de una manera que también se trate de cuidar el medio ambiente.

Dentro de esta búsqueda encontramos un material plástico denominado Polietileno de Alta Densidad (HDPE) que es considerado un contaminante del medio ambiente debido a su larga presencia en nuestro planeta. Según el último informe de la compañía alemana Ceresana sobre el Mercado Global del HDPE, este plástico se encuentra entre los más





- ¿Cómo variará la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región del Cusco?
- ¿Cuál será la evaluación comparativa del porcentaje de vacíos entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región del Cusco?
- ¿Cómo variará la densidad de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco?
- ¿Cómo variará la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco?

## 1.2 Justificación e Importancia de la investigación

### 1.2.1 Justificación técnica

La presente investigación se justifica técnicamente ya que al adicionar diferentes tipos de plásticos a las mezclas asfálticas es una alternativa de mejora en sus características físicas y comportamiento mecánico. La mezcla asfáltica modificada con HDPE busca alcanzar un mejor rendimiento optimizando la vida útil del pavimento.

### 1.2.2 Justificación social

La presente investigación se justifica socialmente ya que, de obtener resultados favorables, está beneficiaría a los proyectos de ingeniería para la elaboración de pavimentos, pues este nuevo aporte generaría una mejora en la calidad de servicio de transitabilidad de vehículos y peatones, además que al utilizar el HDPE reciclado podría significar una alternativa de solución a la contaminación ambiental ya que este tipo de plástico se desintegra en un número considerado de años.

### 1.2.3 Justificación por viabilidad

La presente investigación se considera viable para desarrollarse, ya que se cuenta con el equipo e instrumentos necesarios para el desarrollo de la investigación dentro del



Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Andina del Cusco así como en el laboratorio J&T Ingeotecnia Servicios Generales S.A.C.

Se cuenta también con la disponibilidad de los diferentes insumos a utilizar en el desarrollo de la investigación como son los agregados, el cemento asfáltico, el HDPE reciclado.

Asimismo, se cuenta con los manuales y normas necesarias para el control de los insumos a utilizar, como también para la evaluación de las características físicas y comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas.

#### 1.2.4 Justificación por relevancia

Al no encontrarse estudios realizados sobre el empleo del HDPE en nuestra región, la investigación resulta relevante ya que el estudio de este material como aditivo en mezclas asfálticas en caliente utilizando la metodología Marshall aportarían no sólo al mejoramiento del pavimento sino también a la reducción de contaminación del medio ambiente teniendo como resultado una mezcla asfáltica eco amigable.

#### 1.3 Limitaciones de la Investigación

La investigación se limita geográficamente al estudio de la mezcla asfáltica en la ciudad del Cusco.

La investigación se limita temporalmente a los datos recopilados en el año 2022 en el laboratorio J&T Ingeotecnia Servicios Generales S.A.C y en el laboratorio de suelos, concreto y asfaltos de la Universidad Andina del Cusco.

La investigación se limita teóricamente a la Metodología Marshall para el diseño de mezclas asfálticas.

La investigación se limita al estudio de las siguientes normativas:

- Manual de Ensayo de Materiales (2016)
- Norma Técnica CE 0.10 Pavimentos Urbanos.
- Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013).

La investigación se limita a la elaboración de los siguientes ensayos:

- Ensayo “Análisis Granulométrico de Agregado Grueso” (MTC E 204)



- Ensayo “Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½”)” (MTC E 207)
- Ensayo “Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso” (MTC E 210)
- Ensayo “Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de los Agregado” (MTC E 209)
- Ensayo “Peso Específico y Absorción de Agregado Gruesos (MTC E 206)
- Ensayo “Partículas Chatas y Alargadas en Agregados” (MTC E 223)
- Ensayo “Análisis Granulométrico de Agregado Fino” (MTC E 204)
- Ensayo “Determinación del Limite Liquido de los Suelos” (MTC E 110)
- Ensayo “Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad” (MTC E 111)
- Ensayo “Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos”
- Ensayo “Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino” (MTC E 114)
- Ensayo “Penetración de los Materiales Bituminosos” (MTC E 304)
- Ensayo “Resistencia de Mezclas Bituminosas Compactadas empleando el Aparato Marshall” (MTC E 504)

La investigación se limita a uso de los siguiente materiales y equipos

- Cemento asfáltico PEN 85/100 provisto por la Planta de Asfalto del Gobierno Regional del Cusco
- Agregado Fino y Grueso de Morro Blanco, provisto por la Cantera de Morro Blanco – San Salvador
- Agregados Finos de Cunyac, provisto por la Planta de Asfalto de COPESCO del Gobierno Regional del Cusco.
- Cemento Portland YURA IP como filler
- Polietileno de alta densidad HDPE reciclado, obtenido de la empresa recicladora ASOCIACION DE RECICLADORES RECIPLAST de la ciudad de Juliaca
- Equipos de laboratorio de J&T Ingeotecnía Servicios Generales S.A.C
- Equipos de laboratorio de Suelo y Pavimentos de la Universidad Andina del Cusco



## 1.4 Objetivos de la investigación

### 1.4.1 Objetivo General

Evaluar y comparar las características físico mecánicas, de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad reciclado (HDPE), con agregados de la región Cusco.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad HDPE reciclado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco
- Evaluar comparativamente la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.
- Evaluar comparativamente el porcentaje de vacíos que presenta la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.
- Determinar la densidad de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.
- Determinar la resistencia al daño por humedad de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.





## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

#### 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

#### **Título: Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico**

Autor: Alex Mauro Luque León

Universidad: Nacional del Altiplano

Año: 2019

Resumen: Con el fin de plantear una alternativa para mitigar la problemática de los residuos sólidos en la ciudad de Juliaca el año 2018 se plantea la presente investigación, que tiene por objetivo general analizar la influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico. Para lo cual, primero se procedió a la obtención de los agregados y el asfalto, seguidamente se realizó los ensayos de control de calidad de los agregados, la dosificación de la combinación de los mismos y el diseño del concreto asfáltico convencional, el cual nos permitió la obtención del contenido óptimo de asfalto con el que se trabajó las probetas de concreto asfáltico modificado. Posteriormente se incorporó el tereftalato de polietileno (PET) triturado en porcentajes de 2.50%, 5.00%, 7.50%, 10.00%, 12.50%, 15.00%, por peso del contenido de asfalto óptimo; al concreto asfáltico modificado mediante el método seco y se procedió a la realización del diseño Marshall del concreto asfáltico modificado mediante el cual se obtuvo el contenido óptimo de tereftalato de polietileno y se determinaron la Estabilidad Marshall, Flujo Marshall y el Porcentaje de Vacíos de Aire; parámetros Marshall que se analizaron posteriormente. Finalizada la ejecución de la presente investigación se pudo obtener que el contenido óptimo de tereftalato de polietileno que se debe incorporar al concreto asfáltico modificado es del 6.70% respecto de la masa del asfalto, porcentaje con el cual se logra el comportamiento ideal de los parámetros Marshall, así como también se cumple con lo exigido en las Especificaciones Generales (EG-2013). Asimismo, se logró concluir que un aumento en el contenido de tereftalato de polietileno no logra una mejora en el comportamiento de la Estabilidad Marshall, tampoco incrementa el valor del Flujo



Marshall, sin embargo, si incrementa el Porcentaje de Vacíos de Aire del concreto asfáltico modificado.

La presente investigación apporto a nuestro tema de tesis lo siguiente:

- El contenido óptimo de polietileno que se debe incorporar al concreto asfaltico adicionado con PET es del 6.70% con respecto a la mezcla del asfalto, logrando cumplir con los parámetros, por tanto, se incluiría el HDPE en menores y/o similares porcentajes por las propiedades similares entre los 2 materiales.
- La incorporación del PET no incrementa el valor del flujo Marshall del concreto asfaltico modificado respecto a una muestra patrón,
- El valor del porcentaje de vacíos de la muestra modificada con PET incrementa su valor respecto a una muestra patrón

**Título: Efectos de la incorporación de PET reciclado en mezclas asfálticas en caliente para cargas de bajo tránsito en la ciudad de Iquitos – Perú, 2021**

Autor: Diaz Bardalez Williams Alexander

Universidad: Universidad científica del Perú - UCP

Año: 2022

Resumen: El presente trabajo de investigación cuasi experimental, tiene como objetivo general determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada con plástico PET en comparación a la tradicional. Esta investigación no tiene un lugar de estudio, pero se podría decir que se realizara en la ciudad de Iquitos – Loreto – Perú.

La incorporación de este material reciclado que lleva como nombre PET (Tereftalato de Polietileno), se empleara como un agregado más de granulometría fina, donde se pretende economizar el agregado grueso (Grava) ya que este material tiene un costo elevado acá en la ciudad de Iquitos, aparte de ello el objetivo es determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada.

El procedimiento para realizar el experimento, se comenzó con realizar ensayos a los materiales, las cuales dieron buenos resultados, después de eso se procedió a encontrar el porcentaje óptimo del PEN 60/70 a emplear. El resultado que se obtuvo fue que, de acuerdo al porcentaje de agregados a emplear en base a 1200 gramos (el peso de una Briqueta) y 75 golpes, se obtuvo que el porcentaje a emplear de PEN con respecto al peso



es de 5.9%. Encontrado ese dato se procedió a realizar ensayos con el PET, en una progresiva de porcentajes de 4% - 5% - 6% - 7% de PET con respecto al peso de la Briqueta (1200 gr).

Realizado el ensayo Marshall, los resultados fueron satisfactorios ya que la estabilidad mínima que se obtuvo fue de 9.0202 kN que es igual a (919.8 kgf), y la estabilidad máxima de acuerdo a nuestros porcentajes fue de 11.526 kN que es igual a (1175.3 kgf).

Encontrado estos resultados, podemos ver que, si cumple con cierta parte de lo normado para pavimentos flexibles, La cual si estaría dentro del objetivo propuesto.

La presente investigación apporto a nuestro tema de tesis lo siguiente:

- En esta tesis se incluyó porcentajes del 4% - 7% de PET con respecto a la briqueta con un porcentaje óptimo de asfalto del 5.9%, por tanto, se podrían incluir porcentajes similares de HDPE en un mayor rango ya que estos 2 materiales tienen propiedades similares
- La incorporación de PET no mejora el comportamiento físico mecánico respecto a las mezclas asfálticas convencionales siendo no recomendable usarla en esos porcentajes.

#### 2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

##### **Título: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall**

Autor: Brayan Josué Ortiz Marroquín

Universidad: San Carlos de Guatemala

Año: 2017

Resumen: El presente trabajo de graduación, se realizó como un estudio teórico-práctico para la evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas de un diseño de mezcla asfáltica con el método de Marshall, con granulometría tipo E de la sección 400 del “Libro Azul”, adicionando un porcentaje de agregado de tereftalato de polietileno (PET), estimado como referencia a la cantidad de agregado pétreo. Se evaluó la proporción que se utilizó y la representación que este ocupó en el diseño de mezcla asfáltica. Se llevó a cabo un diseño de mezcla asfáltica convencional y se comparó con el diseño de mezcla asfáltica, adicionando tereftalato de polietileno (PET), como agregado.



Con el desarrollo de este trabajo se pretendió dar un mejor uso a este material debido a que hay demasiada contaminación ambiental, siendo este el problema fundamental en el desecho de envases plásticos reciclables no tratados. Es por ello que se trató de aplicar a un tratamiento productivo de uso con la interacción a las mezclas asfálticas, por medio del método de Marshall, el cual es muy utilizado actualmente en Guatemala para la producción de mezclas asfálticas.

Se evaluaron las características físicas y propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional y de la mezcla asfáltica adicionando tereftalato de polietileno (PET) como agregado, además se verificó que los agregados utilizados para los diseños de mezcla asfáltica estuvieran en condiciones óptimas, de acuerdo a los procedimientos y especificaciones aplicables indicados por AASHTO y ASTM.

La presente investigación apporto a nuestro tema de tesis lo siguiente:

- El PET tiene deficiencias notables ya que presenta características físicas y propiedades mecánicas relativamente inferiores como la estabilidad y deformación, en comparación de una mezcla asfáltica convencional, por tanto, el HDPE teniendo características como de la dureza superficial y resistencias podría aportar una mayor estabilidad siendo como punto débil la adherencia con el cemento asfáltico por su baja rugosidad en la superficie del material.
- En relación a la estabilidad el PET actúa como un vacío y la estabilidad no es recomendable además de la adherencia entre el PET y el cemento asfáltico es mínima y no es recomendable para ser usado como agregado.

**Título: Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-1**

Autor: Luis Fernando Coicue Duarte y Cristhian camilo Sepulveda Salazar

Universidad: Católica de Colombia

Año: 2017

Resumen: De acuerdo a análisis realizados por Rondón, el proyecto de investigación se enfoca en evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica MDC-19 modificada; por medio del ensayo Marshall a diferentes dosificaciones de desecho de polietileno de baja densidad (PEBD) obtenido del reciclaje de bolsas plásticas, que será mezclado con



cemento asfáltico (CA) en relaciones de peso (PEBD/CA) del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% a una temperatura de  $145 \pm 5$  °C debido a que por encima de la misma el CA experimenta envejecimiento por pérdida de componentes químicos.

Por otra parte, Rojas y Mendivelso mencionan que, para la producción de asfaltos convencionales se requiere de energía por el uso de hidrocarburos. Con este proceso de modificación se busca reducir el impacto ambiental, teniendo en cuenta que la utilización de productos provenientes del petróleo ocasiona una huella ambiental considerable, ya que para su colocación es necesario disponerlo en campo a altas temperaturas.

Por consiguiente, hoy en día se busca disminuir dicho impacto por medio de la reutilización de materiales, en este caso polímeros los cuales serán obtenidos del reciclaje de bolsas plásticas. En consecuencia, Flores indica que con las adiciones de PEBD en el cemento asfáltico se evaluarán las propiedades mecánicas del ligante, para determinar la variación de su estabilidad y fluencia respecto a una mezcla convencional tipo MDC-19.

Adicionalmente se utilizarán dos tipos de métodos para adicionar el polímero a la mezcla, estos fueron estudiados por Shafii y otros manifestando que normalmente se utiliza el método premezclado (Vía Seca) para el polímero sólido (hace parte de los agregados) y se utiliza el método post-mezclado (Vía Húmeda) para el polímero líquido (se mezcla con el cemento asfáltico y después se mezcla con los agregados), para tal efecto en este trabajo se evaluarán los dos métodos.

La presente investigación aporta a nuestro tema de tesis lo siguiente:

- La relación de vacíos de la mezcla asfáltica modificada con polietileno de baja densidad no varía significativamente en contraste a una mezcla asfáltica convencional.
- La adherencia del PEBD es buena con el cemento asfáltico así que esta mejora en las propiedades de mayor rigidez sin disminuir su resistencia en contraste a una mezcla asfáltica convencional.
- las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada mejor en un 23%, respecto a una mezcla asfáltica convencional, por tanto, el polietileno de alta densidad podría mejorar estas propiedades teniendo como punto débil la adherencia con el cemento asfáltico con el polietileno de alta densidad



## 2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

### 2.2.1 Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Fonseca, 2002)

#### 2.2.1.1 Características de un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente a los agentes del intemperismo.
- Ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe ser durable.
- Debe tener un buen drenaje.
- Debe ser económico.

(Fonseca, 2002)



### 2.2.1.2 Clasificación de los Pavimentos

*Tabla 1: Clasificación de los Pavimentos*

Pavimentos Rígidos	Pavimentos Flexibles
<ul style="list-style-type: none"><li>• Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto apoyada en la subrasante, la capacidad estructural de este tipo de pavimento depende de la losa y de la capa de la subrasante</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa el cual está sobre dos capas no rígidas que son nombradas como la base y sub base.</li><li>• La estructura es:<ul style="list-style-type: none"><li>• Carpeta Asfáltica</li><li>• Base</li><li>• Sub base</li></ul></li></ul>

*Fuente: Padilla Rodríguez, 2014*



*Figura 3: Pavimento*

*Fuente: Adaptado de Google*

### 2.2.2 Mezclas Asfálticas

También conocidas como hormigón bituminoso, concreto bituminoso, agregado bituminoso; es la combinación de un ligante bituminoso, generalmente derivado del petróleo, agregados minerales pétreos y el filler. Las cuales son utilizadas en la conformación de firmes, ya sea como capa superficial, base o sub-base. Estas tienen por función proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando el tránsito de todo tipo de vehículos;



además las mezclas asfálticas también tienen por función transmitir las cargas de tránsito a las capas inferiores del pavimento. Debido a su buen comportamiento como impermeabilizante son utilizadas en carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros.

(Padilla Rodríguez, 2014).

Dentro de la elaboración de una mezcla asfáltica se busca que esta cumpla con ciertas características importantes, las cuales son:

- La mezcla debe de poseer la suficiente estabilidad para poder satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos.
- La densidad que posea la mezcla, definida como peso unitario, es una característica importante en la búsqueda de obtener un rendimiento duradero de un pavimento, esta es calculada de multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua.
- El contenido de asfalto debe ser el suficiente para así asegurar que el pavimento sea durable, este como resultado de un recubrimiento completo a las partículas de agregado pétreo, compactado adecuadamente. Este depende significativamente de las características que presenten los agregados, como su granulometría y capacidad de absorción.
- La mezcla asfáltica debe ser lo suficientemente trabajable para permitir una eficiente operación constructiva en su elaboración y compactación.
- Debe de tener los espacios vacíos suficientes para evitar posibles afloramientos de asfalto y sus posteriores pérdidas de estabilidad. Los espacios vacíos son determinantes en la durabilidad que se busque alcanzar en los pavimentos. Esta característica está directamente relacionada con la densidad de la mezcla.

(Rondón Quintana & Reyes Liscano, 2015)





### 2.2.2.1 Clasificación de las Mezclas Asfálticas

Tabla 2: Clasificación de las mezclas asfálticas

<p><b>Por Fracciones de agregado pétreo empleado</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.</li><li>• Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.</li><li>• Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.</li><li>• Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.</li></ul>	<p><b>Por la Temperatura de puesta en obra</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos.</li><li>• Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados).</li></ul>	<p><b>Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.</li><li>• Mezclas Cerradas : La proporción de vacíos &lt; 6 %.</li><li>• Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos de 6 %-10 %.</li><li>• Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos &gt;12 %.</li><li>• Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos &gt;20 %.</li></ul>
<p><b>Por el Tamaño máximo del agregado pétreo</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.</li><li>• Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.</li></ul>	<p><b>Por la Estructura del agregado pétreo</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable.</li><li>• Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.</li></ul>	<p><b>Por la Granulometría</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.</li><li>• Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.</li></ul>

Fuente: Padilla Rodríguez, 2014



### 2.2.2.2 Tipología de las Mezclas Asfálticas.

- Mezcla Asfáltica en Caliente:

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente. (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales art. 542 y 543 PG-3.)

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

(Padilla Rodríguez, 2014)

- Mezcla Asfáltica en Frío:

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Estas mezclas se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar



maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

(Padilla Rodríguez, 2014)

### 2.2.2.3 Propiedades de las mezclas asfálticas

Se puede decir que en general una mezcla asfáltica debe optimizar las siguientes propiedades:

- Estabilidad: Es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito.

Tabla 3: Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o 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 con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

- Durabilidad: Es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto, y separación de las películas de asfalto. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. (Asphalt Institute, 1992)

Tabla 4: Causas y efectos de un poco durabilidad en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)



- **Flexibilidad:** es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. Asimismo, se puede afirmar que una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. (Asphalt Institute, 1992)
- **Impermeabilidad:** es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. (Asphalt Institute, 1992)

Tabla 5: Causas y efectos de la permeabilidad en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

- **Resistencia a la fatiga:** es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito, a medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (Asphalt Institute, 1992)

Tabla 6: Causas y efectos de la mala resistencia a la fatiga en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

- **Trabajabilidad:** esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que tienen una buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar. Aunque el asfalto no es la



principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad ya que la temperatura afecta en su viscosidad. (Asphalt Institute, 1992)

Tabla 7: Causas y efectos de la mala problemas en la trabajabilidad en el pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: (Asphalt Institute, 1992)

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las siguientes propiedades:

- Resistencia al deslizamiento: es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada, es por ello que las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (Asphalt Institute, 1992)
- Regularidad.
- Permeabilidad adecuada.
- Sonoridad.
- Color, entre otras.

(Padilla Rodríguez, 2014)

## 2.2.3 Materiales de las Mezclas Asfálticas

### 2.2.3.1 Agregados Pétreos

Los agregados pétreos son las partículas de composición mineralógica usadas junto con un material cementante, el asfalto, para formar superficies de desgaste. Las fuentes de agregados incluyen depósitos de arena y grava. Los agregados pétreos se emplean, combinados con asfaltos de diversos tipos, para preparar mezclas diversas. Estos conforman normalmente el 90% de las mezclas asfálticas, razón por la cual sus propiedades tienen una gran influencia sobre la mezcla. Los áridos más empleados son piedra y escoria partidas, grava machacada o natural, arena y filler mineral. Para las



mezclas asfálticas es de gran importancia el control de sus propiedades. (Instituto mexicano de transportes, 2006)

Dentro de las propiedades más importantes de los agregados pétreos a considerar para la elaboración de mezclas asfálticas están:

Tabla 8: Propiedades de los agregados pétreos

<p><b>Tamaño y gradación de los agregados</b></p>	<p><b>Dureza o resistencia al desgaste</b></p>	<p><b>Durabilidad o resistencia al intemperismo</b></p>
<p>•Tiene que ver con la selección que se realiza a los agregados de acuerdo a diferentes tamaños. La gradación de los agregados es la combinación de tamaños de partículas en la mezcla. Se realiza un análisis granulométrico para determinar las propiedades relativas de los diferentes tamaños de partículas. (Simón, 2004)</p>	<p>Está relacionada con la resistencia que presentan los agregados pétreos al ser sometidos a desgaste; la estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de Los Ángeles</p>	<p>Normalmente medida con una prueba de integridad, en la cual se mide la resistencia que presentan los agregados a la desintegración en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio; prueba que simula el intemperismo de los agregados que existen en la naturaleza.</p>
<p><b>Densidad relativa y Absorción</b></p>	<p><b>Forma de partícula y Textura de la superficie</b></p>	<p><b>Ausencia de partículas o sustancias nocivas</b></p>
<p>•La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica. Se utilizan dos medidas de densidad relativa; la aparente y la densidad relativa de masa. La absorción es la relación entre la masa absorbida y la masa seca de los agregados.</p>	<p>Una de las propiedades importantes a controlar para la elaboración de las mezclas asfálticas, pues estas requieren que los agregados sean resistentes, limpios, durables y libres de cantidades en exceso de piezas planas o alargadas</p>	<p>Es importante también que los agregados para elaborar mezclas asfálticas no presenten sustancias nocivas, tales como pueden ser el polvo, bolas de arcilla, sílice hidratada, limos entre otras impurezas.</p>

Fuente: Instituto mexicano de transportes, 2006



### 2.2.3.1.1 Requerimiento de los Agregados Pétreos

- Requerimientos normativos para agregado grueso

De acuerdo al (MTC,2013) los agregados gruesos deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 9: Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: (MTC,2013)

De acuerdo al (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), los agregados deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 10: Requerimientos para los agregados gruesos según la CE.010

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnmm)	
		< 3000	> 3000
Pérdida en Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	12 % máximo	10 % máximo
Pérdida en Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	18 % máximo	15 % máximo
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	40 % máximo	35 % máximo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 % mínimo	
Partículas chatas y alargadas *	NTP 400.040:1999	15 % máximo	
Partículas fracturadas	MTC E210-2000	Según Tabla 12	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.021:2002	1,00 %	Según Diseño
Adherencia	MTC E519-2000	+ 95	

\* La relación a emplearse para la determinación es: 5/1 (ancho/espesor o longitud/ancho)

Fuente: NTP CE.010 Pavimentos Urbanos



- Requerimientos normativos para agregado fino

De acuerdo al (MTC,2013) los agregados finos deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 11: Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

\*\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

Fuente: (MTC,2013)

De acuerdo al (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), los agregados deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 12: Requerimientos para los agregados finos según la CE.010

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnmm)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	Según Tabla 13	
Angularidad del agregado fino	MTC E222-2000	Según Tabla 14	
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E220-2000	4 % mínimo	6 % mínimo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 mínimo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1999	Máximo 4	NP
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.022:2002	0,50 %	Según Diseño

Fuente: NTP CE.010 Pavimentos Urbanos





### 2.2.3.1.2 Control de calidad de los Agregados Pétreos

#### 2.2.3.1.2.1 Control de calidad de los agregados gruesos

1) Análisis granulométrico del agregado grueso – MTC E 204

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar por medio de una serie de tamices la distribución de partículas del agregado grueso. Los resultados de este ensayo son usados para determinar el cumplimiento de los requerimientos que establece la especificación técnica de la obra

2) Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados – MTC E 207

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la degradación de los agregados menores a 37,5mm (1”) utilizando la máquina de los ángeles.

3) Peso específico y absorción de agregados gruesos – MTC E 206

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar el peso específico seco, peso saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción del agregado grueso. Considerando que para determinar el peso específico saturado con superficie seca y la absorción se basan en agregados remojados en agua por 24 horas.

4) Determinación de partículas largas y achatadas – MTC 223

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar los porcentajes de partículas largas o achatadas en el agregado grueso. Este ensayo no es aplicable a los agregados menores de 6.3mm (1/4”) o mayores de 63mm (2”).

5) Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso – MTC E 210

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar el porcentaje en masa o cantidad de conteo de partículas con caras fracturadas de una muestra de agregado grueso.



- 6) Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso – MTC E 209

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio de los agregados.

#### 2.2.3.1.2.2 Control de calidad de los agregados finos

- 1) Análisis granulométrico del agregado fino– MTC E 204

Según (MTC E 204, 2016), el objeto de este ensayo es determinar por medio de una serie de tamices la distribución de partículas del agregado fino

- 2) Gravedad específica y absorción del agregado fino – MTC E 205

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar el peso específico seco, peso saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción del agregado fino con el fin de usar estos valores en los cálculos de diseño de mezclas asfálticas.

Este ensayo no es aplicable para agregados ligeros ya que debe estar sumergido en agua 24 horas.

- 3) Determinación límite líquido de los suelos – MTC E 110

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar el contenido de humedad en el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

Este límite además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos, puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el Límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

(Botía Diaz, 2015)

- 4) Determinación límite plástico e índice de plasticidad MTC E 111

Según (Manual de Ensayos de Materiales, 2016), se denomina límite plástico a la humedad más baja en la que pueden formarse cilindros alargados de uno 3.2mm (1/8”) de diámetro en un vidrio esmerilado sin que dichos cilindros se desmoronen.



- 5) Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado fino– MTC E 209

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio de los agregados.

- 6) Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino – MTC E 114

Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es indicar las proporciones relativas de los suelos arcillosos o finos plásticos de los agregados que pasen el tamiz N°4 (4.75mm).

#### 2.2.3.2 Materiales Asfálticos

Son materiales aglomerantes sólidos y semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de estos entre sí o con el petróleo o productos de estas combinaciones. (Instituto mexicano de transportes, 2006)

- Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es un ligante denso que a la temperatura ambiente es semisólido, usualmente pegajoso y de color entre café muy oscuro u negro. (Fonseca, 2002) Designado por las letras AC o CA, son clasificados de acuerdo a su penetración y viscosidad. Proviene de la refinación del petróleo o de la mezcla de un asfalto refinado y un aceite fluidificante (gasóleo). Es considerado como un material ideal para la producción de Mezclas Asfálticas en caliente (HMA), por ende, en los trabajos de pavimentación, pues además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, poseen características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de ácidos, sales y alcoholes. (Arenas Lozano, 1999)

La calidad de un cemento asfáltico viene afectada por la propiedad del crudo, que pueden variar mucho aún dentro de un mismo yacimiento y también por el sistema de refinación que se haya empleado. (Fonseca, 2002)



#### 2.2.3.2.1 Clasificación de cementos asfálticos

Según (Montejo Fonseca, 2002), el cemento asfáltico se prepara comercialmente en cinco grados o rangos de consistencia definidos con base en el ensayo de penetración que se describirá más adelante. La designación corriente de los cinco grados de cemento asfáltico utilizados en pavimentación y su significado correspondiente es como sigue:

- AC 40-50: Cemento asfáltico con penetración entre 40 y 50 décimas de milímetro.
- AC 60-70: Cemento asfáltico con penetración entre 60 y 70 décimas de milímetro.
- AC 85-100: Cemento asfáltico con penetración entre 85 y 100 décimas de milímetro.
- AC 120-150: Cemento asfáltico con penetración entre 120 y 150 décimas de milímetro.
- AC 200-300: Cementos asfáltico con penetración entre 200 y 300 décimas de milímetro.
- Cemento asfáltico PEN 85/100

Los cementos asfálticos se utilizan principalmente en aplicaciones viales. Son sólidos a temperatura ambiente y se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad. En el Perú se utiliza la clasificación por penetración a 25°C. Son recomendados para la construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías y forman parte de la capa estructural de una vía, brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aún en presencia de los diferentes agentes externos tales como el clima, la altura, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico.



Tabla 13: Características del Cemento Asfáltico 85/100

Cemento Asfáltico 85/100												
Tipo	AASHTO (M20)			ASTM (D946)			MTC			NTP (321.051)		
CARACTERÍSTICAS	Metodo	Min.	Max.	Metodo	Min.	Max.	Metodo	Min.	Max.	Metodo	Min.	Max.
Penetración												
a 25°C. 100gr. 5 seg. 0.1 mm	T-49	85	100	D-5	85	100	MTC-E304	85	100	321.033	85	100
Punto de inflamación												
(Copa abierta Cleveland, °C)	T-48	232	-	D-92	232	-	MTC-E312	232	-	16:05-013	232	-
Ductilidad												
a 25°C. 5cm/min, cm	T-51	100	-	D-113	100	-	MTC-E306	100	-	16:05-009	100	-
Solubilidad												
en Tridorcetileno, % masa	T-44	99.0	-	D-2042	99.0	-	MTC-E302	99.0	-	16:05-012	99.0	-
Ensayos en el Residuo de película fina	T-179			D-1754			MTC-E316			D-1754		
3.2 mm, 163° C. 5 hr												
Penetración												
en residuo, % del original	T-49	50	-	D-5	47+	-	MTC-E304	47	-	321.033	47+	-
Ductilidad												
a 25°C. 5cm/min, cm	T-51	75	-	D-113	75	-	MTC-E306	75	-	16:05-009	75	-
Pérdida por calentamiento												
% masa	-	-	1.0				-	-	1.0			
Índice de susceptibilidad térmica												
							-	-1.0	+1.0			
Ensayo de la Mancha												
(opcional)(*)	T-102		Negativo				MTC-E314		Negativo			

(\*) Sobre el Ensayo de la Mancha AASHTO indica prueba como opcional. No precisa % de solvente a usar. Dicho porcentaje deberá determinarse entre productor y usuario

Fuente: Asfalto & Construcciones S.A.C.



Figura 4: Cemento asfáltico

Fuente: Adaptado de Google

#### 2.2.3.2.2 Temperatura de aplicación del cemento asfáltico (C°)

El rango de temperatura de aplicación se detalla en el siguiente cuadro indicado

Tabla 14: Rangos de temperatura de aplicación

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido <sup>(2)</sup>		Temperaturas de Mezclado en Planta <sup>(1)</sup>	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
<b>Asfaltos Diluidos</b>				
MC-30	--	30	--	--
RC-70 o MC-70	20	50	--	--
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	--
RC-800 o NC-800	55	95	75-100	--
<b>Emulsiones Asfálticas</b>				
CRS-1	--	50-85	--	--
CRS-2	--	50-85	--	--
CMS-2	20-70	--	10-70	--
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	--	10-70	--
<b>Cemento Asfáltico</b>				
Todos los grados	140 máx (4)		140 máx (4)	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura

Fuente: MS-16-Asphalt Institute

Fuente: MTC, 2013



#### 2.2.3.2.3 Control de calidad del cemento asfáltico

- Penetración de los materiales bituminosos – MTC E 304
- Según (Manual de Ensayo de Materiales, 2016), el objetivo de este ensayo es determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos y semisólidos.
- Es un método de ensayo en el cual se determina la medida de la consistencia del cemento asfáltico, este se mide en mm en un determinado tiempo y temperatura. (Paladines Pardo, 2015)

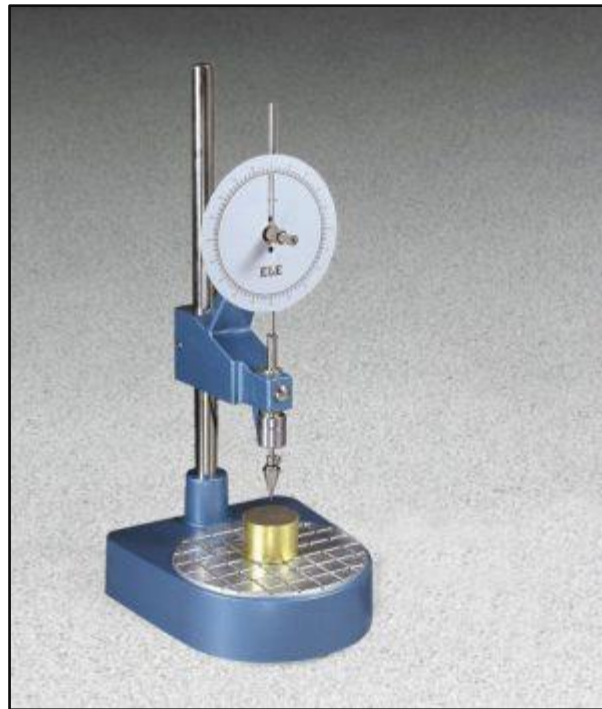


Figura 5: Penetrómetro de asfalto

Fuente: Adaptado de Google

#### 2.2.4 Diseño de Mezclas Asfálticas

##### 2.2.4.1 Método Marshall

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adiciona ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas. El propósito del método de Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, este método solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado



por viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaño máximo de 25mm (1 pulgada).

(Avellán Cruz, 2007)

#### 2.2.4.1.1 Metodología

Procedimiento.

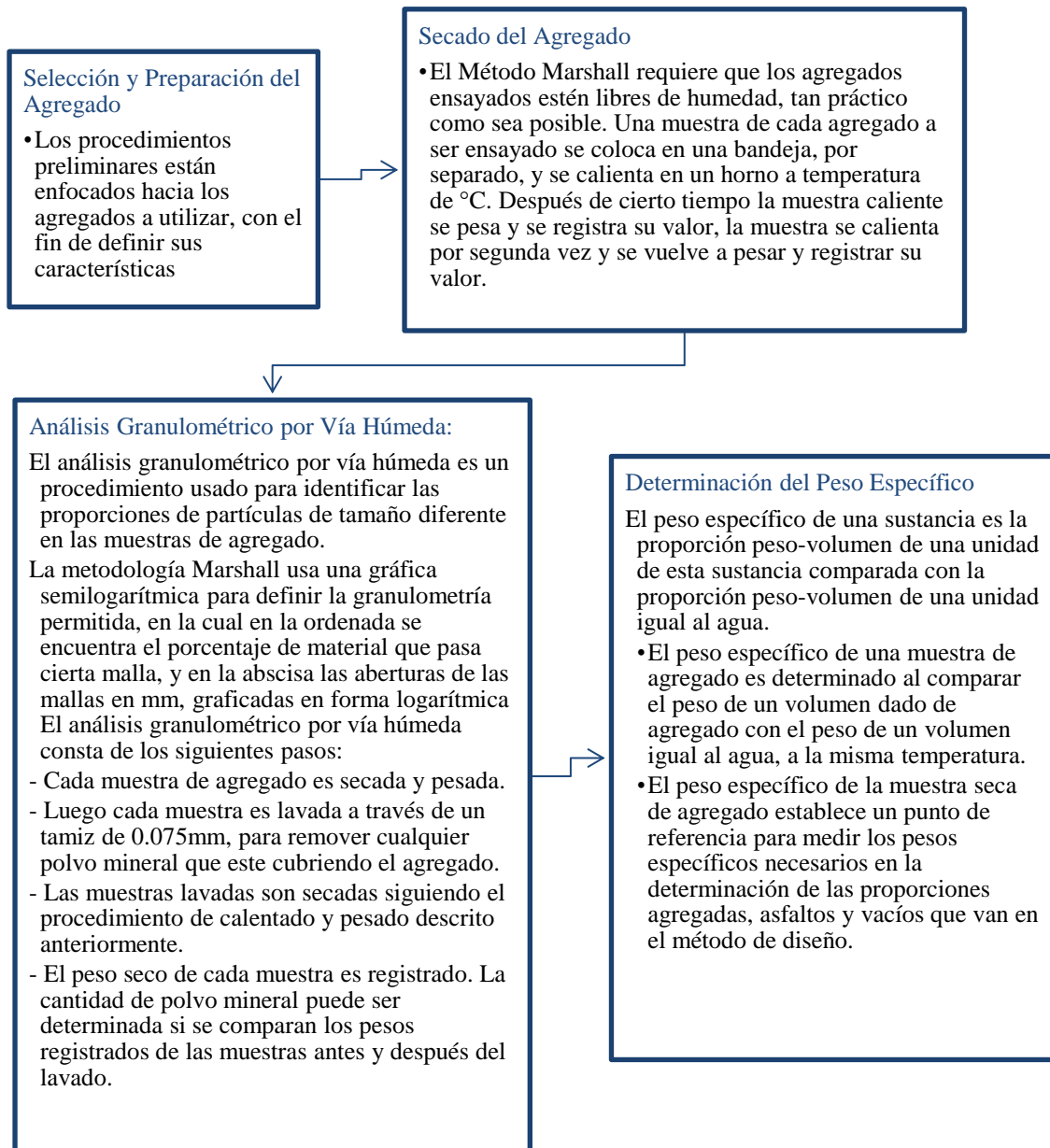


Figura 6: Procedimiento - Metodología Marshall

Fuente: Avellán Cruz, 2007





#### 2.2.4.2 Preparación de las muestras de Ensayo.

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto.

#### 2.2.4.3 Ensayos

Dentro de los ensayos a desarrollar en el método encontramos:

- **Determinación del peso específico Total:** El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.
- **Ensayos de Estabilidad y Fluencia:** El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.
- **Análisis de Densidad y Vacíos:** Una vez se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie e probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.
- **Análisis de vacíos:** Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).
- **Análisis de peso unitario:** El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 Kg/m<sup>3</sup> (62.4 lb/ft<sup>3</sup>)
- **Análisis de VMA:** Los vacíos en el agregado mineral, VMA, está definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla
- **Análisis de VFA:** Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto

#### 2.2.4.4 Determinación del contenido de asfalto

El contenido de asfalto dependerá de las características del agregado ya sea como de la granulometría y de capacidad de absorción, el contenido se obtendrá a partir de los resultados obtenidos en las pruebas anteriores.

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Alonso Romero, & Alarcón Orta, 2004).

#### 2.2.4.5 Parámetros Volumétricos de mezclas compactadas

Las propiedades volumétricas de las mezclas compactadas proporcionan algún indicativo del probable comportamiento del pavimento en servicio, estas propiedades volumétricas son vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (Pbe).

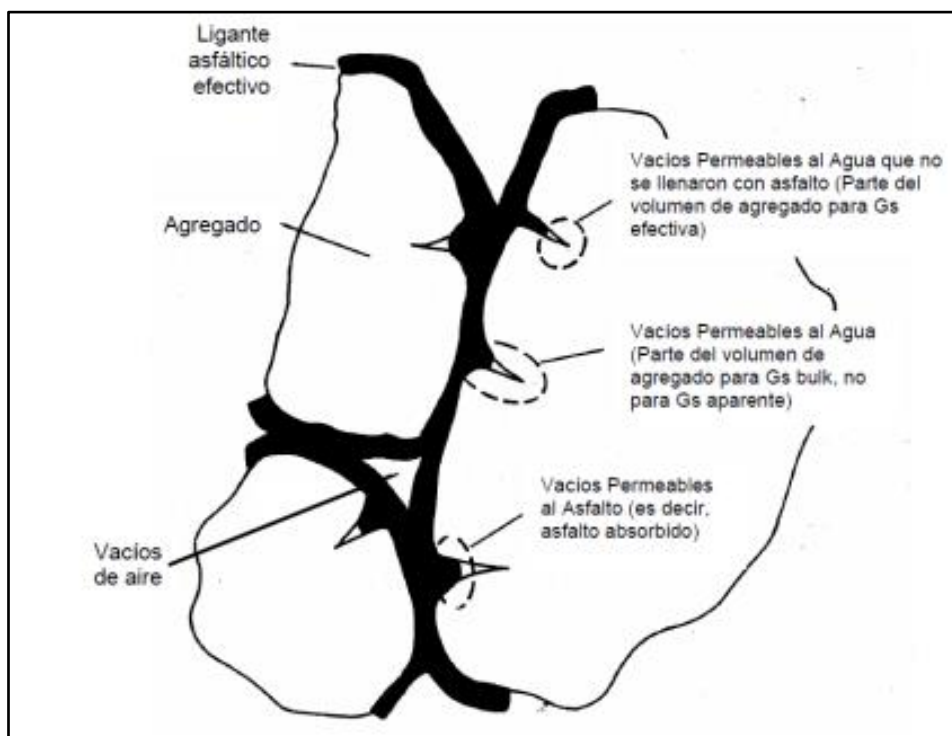


Figura 7: Gravedades específicas bulk, efectiva y aparente, vacíos de aire y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas

Fuente: (Minaya González & Ordoñez Huamán, 2006)



Según (Minaya González & Ordoñez Huamán, 2006), los parámetros a considerar son los siguientes:

- Gravedad específica Bulk del agregado:

Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas (por ejemplo, grueso y fino), el valor de la gravedad específica promedio se calcula con la siguiente ecuación:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

$G_{sb}$  : Gravedad específica bulk de la combinación e agregados

$P_1, P_2, P_n$  : Porcentajes individuales por peso del agregado

$G_1, G_2, G_n$  : Gravedad específica bulk individual del agregado

- Gravedad específica efectiva del agregado

La gravedad específica efectiva se calcula con la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas (RICE) ASTM D-2041, de la siguiente manera:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde

$G_{se}$  : Gravedad específica efectiva del agregado

$P_{mm}$  : Porcentajes en peso del total de la mezcla suelta, 100%

$P_b$  : Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra.

$G_{mm}$  : Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla

$G_b$  : Gravedad específica del asfalto

- Gravedad específica teórica máxima de las mezclas con diferentes contenidos de asfalto

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde

$G_{mm}$  : Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla



- Pmm : Porcentajes en peso del total de la mezcla suelta, 100%
- Ps : Contenido de agregado, porcentaje en peso del total de la mezcla
- Pb : Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra.
- Gse : Gravedad específica efectiva del agregado.
- Gb : Gravedad específica del asfalto

- Absorción de asfalto

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb$$

Dónde:

Pba : Asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.

Gse : Gravedad específica efectiva del agregado.

Gb : Gravedad específica del asfalto.

Gsb : Gravedad específica bulk del agregado.

- Contenido de asfalto efectivo de la mezcla

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} * Ps$$

Donde:

Pbe : Contenido de asfalto efectivo, porcentaje del peso total de la mezcla

Pb : Contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

Pba : asfalto absorbido, porcentaje del peso del agregado

Ps : Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla

- Porcentaje de VMA en mezcla compactada

Este parámetro define los vacíos entre las partículas de agregado de la mezcla compactada, incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb}$$

Dónde:

VMA : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

Gsb : Gravedad específica bulk del agregado.

Gmb : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (AASHTO T166; ASTM D1188 o D2726).



Ps : Contenido de agregado, porcentaje en peso del total de la mezcla.

- Porcentaje de vacíos de aire en mezcla compactada

Este parámetro representa los pequeños vacíos de aire entre las partículas de agregados recubiertos en la mezcla total compactada.

$$V_a = 100 - \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Dónde:

V<sub>a</sub> : Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

G<sub>mm</sub> : Gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire).

G<sub>mb</sub> : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

- Porcentaje VFA en mezclas compactadas

Este parámetro define el porcentaje de los vacíos entre partículas que se llenan con asfalto, pero no incluye el porcentaje de asfalto absorbido.

$$VFA = 100 * \frac{(VMA - V_a)}{VMA}$$

Dónde:

VFA : Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk.

V<sub>a</sub> : Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.



### 2.2.4.6 Requerimientos normativos para mezcla asfáltica

De acuerdo al (MTC,2013) Las características de calidad de la mezcla asfáltica deberán estar de acuerdo con los siguientes requerimientos:

Tabla 15: Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.  
(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.  
(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.  
(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.  
El Índice de Compactabilidad se define como: 
$$\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$$
Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Fuente: MTC,2013

Tabla 16: Requisitos de porcentaje de 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

Nota: Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas que se dan en la Subsección 423.02(c). Las tolerancias serán definidas puntualmente en función de las propiedades de los agregados.

Fuente: (MTC, 2013)



Tabla 17: Requisitos de porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA)

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	VFA
$\leq 0,3$	70-80
$>0,3-3$	65-78
$>3$	65-75

Fuente: (MTC, 2013)

#### 2.2.4.7 Resistencia al daño inducido por humedad en una mezcla asfáltica

El daño inducido por humedad se genera debido a la baja o pérdida adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado ya que la humedad en la mezcla asfáltica debilitará la estructura.

El daño se presentará ya que la humedad penetrará por una falla o por los poros minúsculos de la estructura asfáltica donde se genera la separación del ligante asfáltico con el agregado produciendo una pérdida de rigidez por el desprendimiento del agregado de la estructura asfáltica.

Ensayo:

Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad: El ensayo tiene como objetivo evaluar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas compactadas al daño que resulta de los efectos de la saturación de agua, se medirá la resistencia a la tracción indirecta de los especímenes, para medirá la pérdida de adhesividad de una mezcla a partir de la saturación de agua, tomando como datos los valores de carga máxima de ruptura.

#### 2.2.5 Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

El polietileno de Alta Densidad (HDPE), es un polímero con estructura lineal y muy pocas ramificaciones. Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas utilizando catalizadores Ziegler-Natta o Proceso Phillips, aunque existe un tercero utilizado; los catalizadores Metalocenos, utilizados únicamente para obtener Polietileno de ultra alta masa molecular.

Es un polímero con densidad comprendida entre 0.950 – 0.960 gr/cm<sup>3</sup> es incoloro, inodoro, no toxico y resistente tanto a esfuerzos como a agentes químicos. (GIRÓN, 2005)



Tabla 18: Datos Técnicos del Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

Densidad g/cm <sup>3</sup> ISO 1183	0,95
Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup> DIN EN ISO 527	28
Resistencia al alargamiento % DIN EN ISO 527	+8
Alargamiento de la rotura %	300
Módulo-E MPa DIN EN ISO 527	850
Resistencia al impacto KJ/m <sup>2</sup> DIN en ISO 179	Sin Rotura
Resistencia al impacto en probeta KJ/m <sup>2</sup> DIN EN ISO 179	50
Dureza superficial N/mm <sup>2</sup> DIN EN ISO 2039-1	45
Dureza shore D ISO 868	66
Expansión lineal coeficiente K-1 DIN 53752	$1'8 \cdot 10^{-4}$
Conductividad térmica W/m-K DIN 52612	0.38
Comportamiento ante el fuego	Normal inflamable
Rigidez dieléctrica KV/mm VDE 0303-21	44
Resistencia superficial Ohm DIN IEC 167	$10^{14}$
Rango de temperatura °C	-100 hasta +80
Resistencia a los productos químicos	Alta resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes
Aceptable fisiológicamente	Sí
Soldadura	Sí
Refuerzo fibra de vidrio	-
Laqueado, impresión	-
Moldeado en caliente	Posible

Fuente: SEAPLAST





Figura 8: Polietileno de alta densidad (HDPE)

Fuente: Adaptado de Google

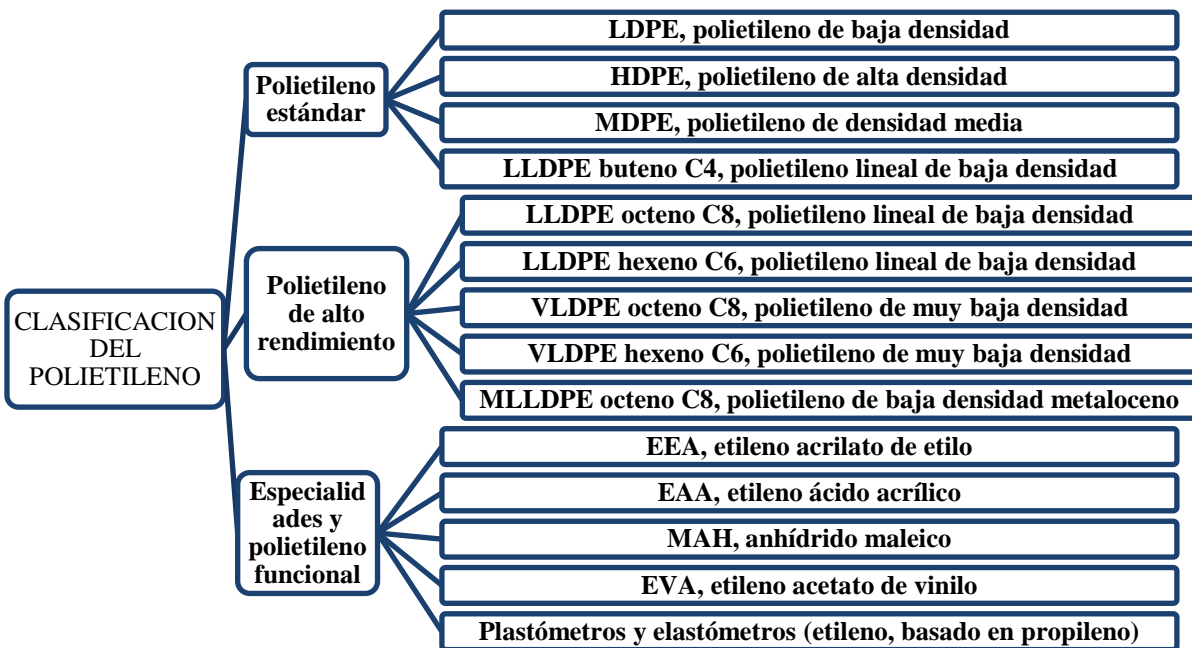


Figura 9: Clasificación del Polietileno

Fuente: RECIMEX

### 2.2.6 Polietileno reciclado

El reciclado de plásticos en nuestro país no existe; se podría decir que está en una etapa inicial ya que su principal limitación es la no existencia de tecnología para este fin.

El polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por la polimerización del etileno también es uno de los plásticos de más uso en nuestro entorno,



Los diversos tipos de polietileno que se encuentran son los resultados de diferentes condiciones por lo cual tenemos los polietilenos de alta densidad y los de baja densidad, polietileno de ultra alto peso molecular y polietileno de densidad media. (RECIMEX, 2017)

#### 2.2.6.1 Procedimiento y selección.

- Separación y selección

Para empezar el reciclado se hace la separación por el proceso con el que se fabricó la pieza (inyección, extrusión, etc.), por el tipo de producto, por el color, y en la selección se debe retirar todo aquello que se considere un contaminante del material. (RECIMEX, 2017)

Tabla 19: Separación y Selección de HDPE

Productos	Proceso	Principales contaminantes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botellas</li> <li>• Cubetas</li> <li>• Palanganas</li> <li>• Juguetes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inyección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asas metálicas</li> <li>• Grasas y aceites</li> <li>• Pinturas</li> <li>• Cemento, metales, cromados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarimas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inyección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alambres</li> <li>• Tornillos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inyección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alambres</li> <li>• Tornillos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caja de uso industrial o agrícola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inyección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alambres</li> <li>• Tornillos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangueras, cintillas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extrusión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alambres, tierra, lodo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Películas y bolsas sin color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extrusión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grapas</li> <li>• Cintas adhesivas</li> <li>• Poturlos con marcador</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>Alambres</li> <li>Grasas y aceite</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Envase de leche yogurt, frugo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extrusión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sellos de aluminio</li> <li>Etiquetas de PVC</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Envases de líquidos para limpieza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extrusión soplada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tapas (no siempre)</li> <li>Quemados o degradados</li> <li>Grasas y aceite</li> </ul>

Fuente: RECIMEX

- Molienda.

El PE-HD es un material muy noble en la molienda ya que es relativamente suave y poco abrasivo

Tabla 20: Molienda de HDPE

Pared	Tipo de molino	Perforaciones de la criba
<ul style="list-style-type: none"> <li>Delgadas (bolsas, películas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corte escalonado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{3}{4}</math>"</li> <li>1"</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gruesa (cajas, botes, cubetas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corte en diagonal o tijera</li> <li>Corte en V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{7}{16}</math>"</li> <li><math>\frac{1}{2}</math>"</li> </ul>

Fuente: RECIMEX

- Lavado y Secado.

Existen dos tipos de lavado: en frío y en caliente. El primero produce material limpio, pero todavía con residuos de contaminantes, mientras que en el segundo se obtiene una materia prima sin contaminantes y, por tanto, de mejor calidad y mayor precio en el mercado.

Dependiendo de la aplicación a la que se destine el PE-HD reciclado es el tipo de lavado que debe hacerse, siendo el más común el lavado en frío. (RECIMEX, 2017)



Tabla 21: Secado de Hojuelas de HDPE

Productos	Lavado más común	Secado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botellas</li> <li>• Cubetas</li> <li>• Juguetes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En frio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por centrifuga</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarimas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En frio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por centrifuga</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenedores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En frio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por centrifuga</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cajas de uso Industrial o agrícola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En frio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por centrifuga</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangueras, cintillas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En frio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por centrifuga</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Películas y bolsas sin color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En frio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por centrifuga + serpentín con aire caliente</li> </ul>

Fuente: RECIMEX

## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta mejores características físicas y comportamiento mecánico que el de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.

### 2.3.2 Sub hipótesis

- El porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado para la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionada se encuentra entre 1%-6%
- La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta mayor valor de estabilidad y menor valor de flujo respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.
- La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta un menor porcentaje de vacíos respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.
- La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, es más densa que la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.



- La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta menor daño por humedad que la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.

## 2.4 Definición de Variables

### 2.4.1 Variable Independiente

- Porcentaje óptimo de Polietileno de alta densidad (HDPE) en peso

### 2.4.2 Variable Interviniente

- Agregados Pétreos
- Cemento Asfáltico 85/100

### 2.4.3 Variable Dependiente

- Densidad
- Porcentaje de Vacíos
- Estabilidad – Flujo Marshall
- Daño inducido por Humedad



2.4.4 Cuadro de operaciones de variables

Tabla 22: Matriz de Operacionalizacion de Variables

VARIABLES		DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE VARIABLES
<b>INDEPENDIENTE</b>	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	Polímero con estructura lineal y muy pocas ramificaciones. Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas utilizando catalizadores	Cantidad de polietileno de alta densidad HDPE	Peso en porcentaje del HDPE respecto al peso total	Porcentaje en peso	Numérica
	<b>INTERVENIENTE</b>	AGREGADOS PETREOS	Partículas minerales granulares que son usadas junto al asfalto para formar una capa superior en el pavimento, por lo general conforman en 90% de todas las mezclas asfálticas.	Características de los agregados	Granulometría	Peso
Índice de Plasticidad					Diferencia entre índice líquido e índice plástico	Numérica
Peso específico					Kg/m <sup>3</sup>	Numérica
Absorción					Porcentaje	Numérica
Índice de aplanamiento y alargamiento					Dimensiones del agregado	Numérica
Equivalente de arena					mm	Numérica
Resistencia a Sulfatos					Porcentaje	Numérica
Abrasión					Peso	Numérica
Porcentaje de caras fracturada	Porcentaje	Numérica				
	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	Cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfaltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo.	Trabajabilidad del cemento asfáltico	Penetración al ligante	1/10mm	Numérica
<b>DEPENDIENTES</b>	DENSIDAD	Calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua.	Peso específico	Peso	gr/cm <sup>3</sup>	Numérica
	PORCENTAJE DE VACIOS	El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).	Relación del peso específico total y peso específico teórico de la mezcla asfáltica	Porcentaje de vacíos	Porcentaje	Numérica
	ESTABILIDAD - FLUJO	Capacidad de la mezcla asfáltica para resistir desplazamiento y deformación bajo la aplicación de carga y deformación del espécimen al punto de máxima carga.	Desplazamiento y deformación	Fuerza/Longitud	Kg/cm	Numérica
	DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD	Evalúa la susceptibilidad de las mezclas asfálticas al daño que resulta de los efectos de la saturación del agua	Susceptibilidad al daño por humedad	Porcentaje TSR	Porcentaje (%)	Numérica

Fuente: Propia



## Capítulo III: Metodología

### 3.1 Metodología de la Investigación

#### 3.1.1 Enfoque de la investigación

En cuanto a su finalidad el enfoque de investigación es Pura ya que la investigación será experimentada en un laboratorio.

Según su prolongación en el tiempo esta investigación es transversal o sincrónica ya que obtendremos datos puntualmente en un tiempo determinado.

Según el énfasis en la naturaleza de los datos manejados esta investigación es Cuantitativa, ya que usaremos medidas físico-mecánicas y los datos de estudio se basan en la cuantificación y cálculo.

(Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

#### 3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

La investigación es Descriptivo- Correlacional, correlacional ya que se establecerá una relación entre las variables de la investigación, modificando la variable dependiente para estudiar la respuesta de la variable dependiente y descriptivo ya que se realizará un análisis y descripción de las variables en la investigación.

(Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

#### 3.1.3 Método de investigación

La investigación es Hipotético-Deductivo, ya que nos basaremos en la observación de un fenómeno, la explicación de una hipótesis a partir de un fenómeno, la deducción de las consecuencias posibles y la verificación o comprobación de lo deducido comparado con los resultados.

(Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

### 3.2 Diseño de la Investigación

#### 3.2.1 Diseño metodológico

Según el tipo de diseño de investigación es cuasi experimental ya que se usará una muestra definida, así como los materiales a usar también están definidos los cuales se manipularán para analizar las consecuencias en de la variable dependiente.



### 3.2.2 Diseño de Ingeniería

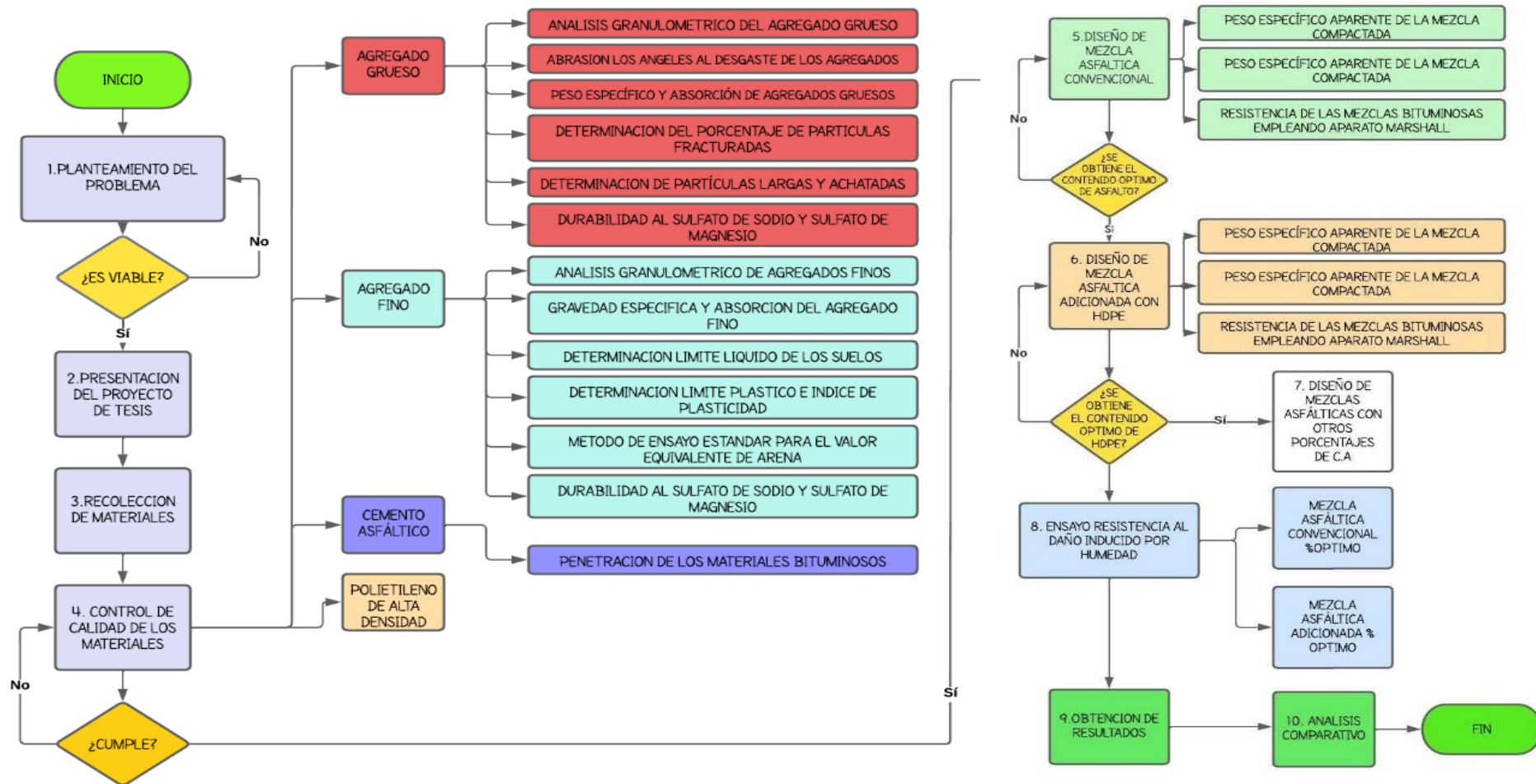


Figura 10: Flujograma de diseño de ingeniería:





### 3.3 Población y Muestra

#### 3.3.1 Población

##### 3.3.1.1 Descripción de la población

La población está conformada por especímenes de mezclas asfálticas en caliente convencionales utilizando cemento asfáltico PEN 85/100 en diferentes porcentajes y las muestras asfálticas en caliente adicionadas con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado utilizando cemento asfáltico PEN 85/100 con diferentes porcentajes de HDPE; utilizando la metodología Marshall, por tanto la población es infinita ya que se pueden realizar un número infinito de muestras con los materiales que se necesitan.

##### 3.3.1.2 Cuantificación de la población

La cuantificación de la población para mezclas asfálticas convencionales utilizando cemento asfáltico PEN 85/100 en porcentajes de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5% es infinita.

La cuantificación de la población para mezclas asfálticas adicionadas con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado utilizando cemento asfáltico PEN 85/100 con porcentajes de 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0% y 6.0% es infinita.

#### 3.3.2 Muestra

##### 3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra está conformada por los especímenes ya sea las muestras convencionales utilizando porcentajes de cemento asfáltico PEN 85/100 y las muestras con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado adicionado en diferentes porcentajes.

Los especímenes tendrán una altura de 6cm aproximadamente y un diámetro de 10 cm aproximadamente, los especímenes se prepararán con agregado grueso de la cantera de Morro Blanco, agregado fino de la cantera de Cunyac y Morro Blanco, con un proceso de mezclado y compactado en caliente en base al cemento asfáltico PEN 85/100 utilizando la metodología Marshall

##### 3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

Para la cuantificación de la muestra se tomó en cuenta el requerimiento mínimo dado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones que son de 3 muestras



como mínimo para cada porcentaje que se ensayará, por ende, se consideró 5 muestras por cada porcentaje para las muestras asfálticas convencionales con cemento asfáltico PEN 85/100 en porcentajes de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5% haciendo un total de 30 especímenes, así como 5 muestras para las muestras asfálticas adicionales con HDPE reciclado en porcentajes de 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%, 5.0% y 6.0%, cabe resaltar que la cantidad de muestras y porcentajes de HDPE reciclado fueron los mismos para los diseños adicionales con porcentajes de cemento asfáltico 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%, estos porcentajes se consideraron en función al porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido. ya sea para el porcentaje óptimo de asfalto, haciendo un total de 150 especímenes con adición de HDPE mediante la metodología Marshall, para el ensayo de resistencia al daño inducido por humedad se realizaran 12 especímenes 6 para el contenido óptimo del asfalto de una mezcla convencional y 6 para el contenido óptimo de adición de HDPE.

Tabla 23: Cantidad de muestras para mezclas asfálticas convencionales

CANTIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS					
TIPO DE MEZCLA ASFALTICA	ENSAYO	NORMA	DESCRIPCION	MUESTRAS SEGÚN NORMA	NUMERO DE MUESTRAS
MUESTRAS ASFALTICAS CONVENCIONALES	Diseño de mezclas asfálticas convencionales 5 por cada porcentaje	MTC E 504	4.00%	3	5
			4.50%	3	5
			5.00%	3	5
			5.50%	3	5
			6.00%	3	5
			6.50%	3	5
	Resistencia al daño inducido por humedad	MTC E 522	seca	3	3
			saturada	3	3
	<b>TOTAL DE MUESTRAS PARA MEZCLAZ ASFALTICAS CONVENCIONALES</b>				

Fuente: Propia



Tabla 24: Cantidad de muestras para mezclas asfálticas adicionales con HDPE

CANTIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS					
TIPO DE MEZCLA ASFALTICA	ENSAYO	NORMA	DESCRIPCION	MUESTRAS SEGÚN NORMA	NUMERO DE MUESTRAS
<b>MUESTRAS ASFALTICAS ADICIONADAS CON HDPE</b>	Diseño de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE para porcentaje óptimo de cemento asfáltico	MTC E 504	1.00%	3	5
			2.00%	3	5
			3.00%	3	5
			4.00%	3	5
			5.00%	3	5
			6.00%	3	5
	Diseño de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE, con 5.5% de cemento asfáltico	MTC E 504	1.00%	3	5
			2.00%	3	5
			3.00%	3	5
			4.00%	3	5
			5.00%	3	5
			6.00%	3	5
	Diseño de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE, con 6.0% de cemento asfáltico	MTC E 504	1.00%	3	5
			2.00%	3	5
			3.00%	3	5
			4.00%	3	5
			5.00%	3	5
			6.00%	3	5
	Diseño de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE, con 6.5% de cemento asfáltico	MTC E 504	1.00%	3	5
			2.00%	3	5
			3.00%	3	5
			4.00%	3	5
			5.00%	3	5
			6.00%	3	5
	Diseño de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE, con 7.0% de cemento asfáltico	MTC E 504	1.00%	3	5
			2.00%	3	5
3.00%			3	5	
4.00%			3	5	
5.00%			3	5	
6.00%			3	5	
Resistencia al daño inducido por humedad para el porcentaje óptimo de adición de HDPE	MTC E 522	seca	3	3	
		saturada	3	3	
<b>TOTAL DE MUESTRAS PARA MEZCLAZ ASFALTICAS ADICIONADAS CON HDPE</b>					<b>156</b>

Fuente: Propia



Tabla 25: Cantidad total de muestras asfálticas

<b>TOTAL DE MUESTRAS PARA MEZCLAZ ASFALTICAS CONVENCIONALES</b>	<b>36</b>
<b>TOTAL DE MUESTRAS PARA MEZCLAZ ASFALTICAS ADICIONADAS CON HDPE</b>	<b>156</b>
<b>TOTAL DE MUESTRAS PARA MEZCLAZ ASFALTICAS CONVENCIONALES Y ADICIONADAS CON HDPE</b>	<b>192</b>

Fuente: Propia

### 3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo para la investigación es No Probabilístico, porque según Hernández Sampieri la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de causas relacionadas con las características de la investigación.

### 3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Para evaluar las muestras se empleará el método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas, primero se determinará el contenido óptimo de asfalto para PEN 85/100, a partir de esto se elaborará las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE reciclado y con estas se evaluará las propiedades físicas y mecánicas utilizando los ensayos de laboratorio respectivos.

### 3.3.3 Criterios de inclusión

- El polietileno de alta densidad HDPE será obtenido de plantas de reciclaje.
- Los agregados pétreos serán recolectados de la Planta de Asfalto de COPESCO del Gobierno Regional del Cusco y de la cantera de Morro Blanco- San Salvador
- Considerando la altitud de la ciudad del Cusco, se optó por utilizar el cemento asfáltico PEN 85/100.
- Considerando que estos materiales deben cumplir con las especificaciones generales de carretera (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- Se incluyó los porcentajes de 4%,4.5%,5%,6% y 6.5% de cemento asfáltico PEN 85/100 ya que la norma indica que el aumento de porcentajes del contenido del ligante debe incrementar cada 0.5% sobre un rango.
- El tamaño máximo nominal del material utilizado es de ½”.
- El Polietileno de Alta Densidad reciclado (HDPE) utilizado fue pasante la malla #4.



- El Polietileno de Alta Densidad reciclado se aplicó en frío a la mezcla asfáltica en caliente en la etapa final de mezclado.
- El Polietileno de Alta Densidad (HDPE) reciclado se adiciono en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%, respecto al peso total de la mezcla.
- La temperatura de compactación de las mezclas asfálticas esta entre 120 °C a 135 °C.

### 3.4 Instrumentos

#### 3.4.1 Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

Para la presente investigación los instrumentos para la recolección de datos serán las fichas de laboratorio ya que estas se usarán para el análisis de las características de los agregados y el diseño de la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica modificada con polietileno de alta densidad reciclado (HDPE).



Tabla 26: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Grueso

TAMIZ		ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	Lim. Infer.	Lim. Super.
1"	25.40															
3/4"	19.05														100.00	100.00
1/2"	12.70														80.00	100.00
3/8"	9.53														70.00	88.00
N°4	4.76														51.00	68.00
N°8	2.36															
N°10	2.00														38.00	52.00
N°16	1.18															
N°30	0.60															
N°40	0.42														17.00	28.00
N°50	0.30															
N°80	0.18														8.00	17.00
N°100	0.15															
N°200	0.07														4.00	8.00
Fondo																
TOTAL																

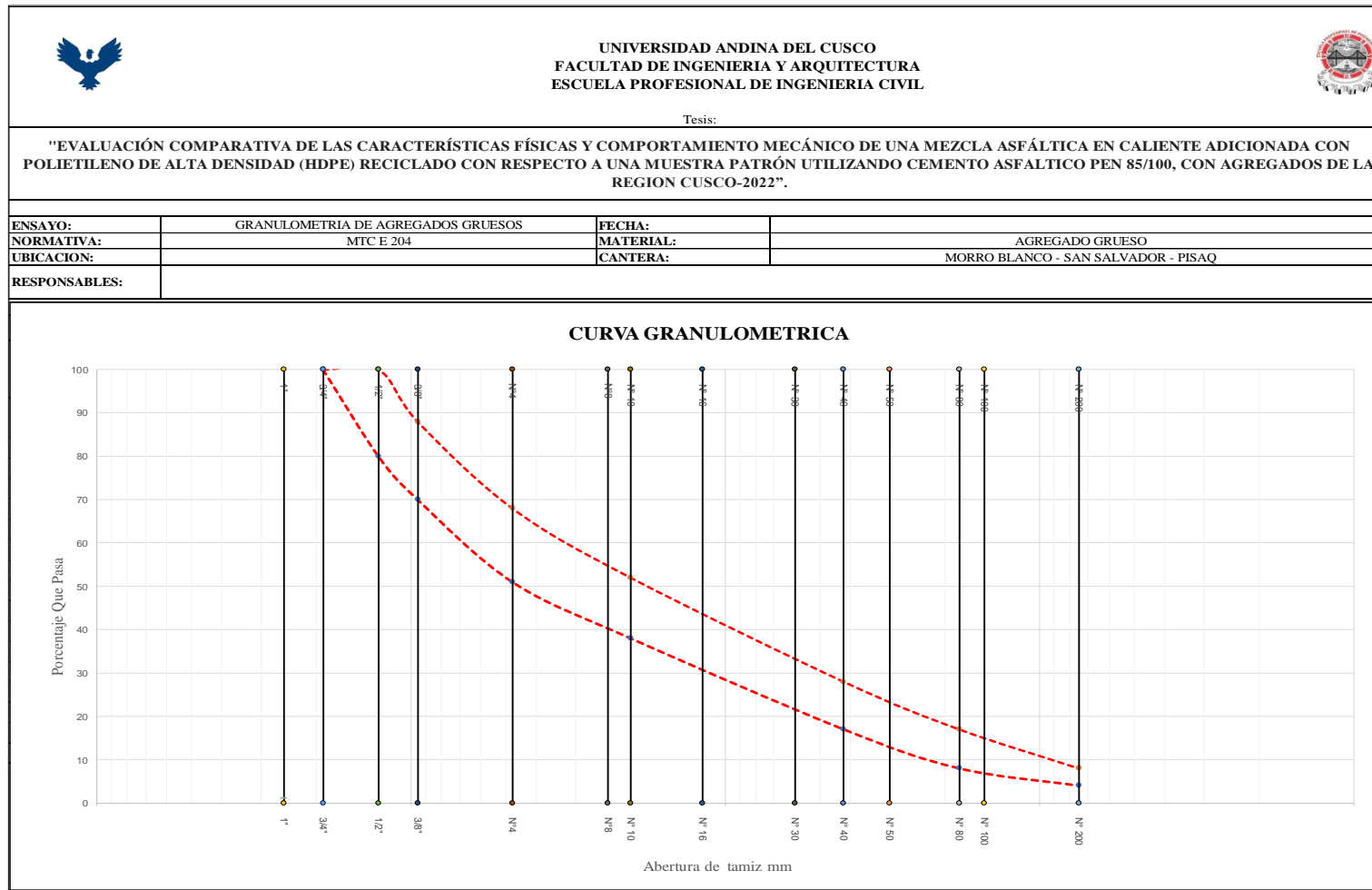
  

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>PESO INICIAL 1:</td><td></td></tr> <tr><td>MAT. PERDIDO 1:</td><td></td></tr> <tr><td>ERROR (%) 1:</td><td></td></tr> <tr><td>CORRECCION 1:</td><td></td></tr> </table>	PESO INICIAL 1:		MAT. PERDIDO 1:		ERROR (%) 1:		CORRECCION 1:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>PESO INICIAL 2:</td><td></td></tr> <tr><td>MAT. PERDIDO 2:</td><td></td></tr> <tr><td>ERROR (%) 2:</td><td></td></tr> <tr><td>CORRECCION 2:</td><td></td></tr> </table>	PESO INICIAL 2:		MAT. PERDIDO 2:		ERROR (%) 2:		CORRECCION 2:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>PESO INICIAL 3:</td><td></td></tr> <tr><td>MAT. PERDIDO 3:</td><td></td></tr> <tr><td>ERROR (%) 3:</td><td></td></tr> <tr><td>CORRECCION 3:</td><td></td></tr> </table>	PESO INICIAL 3:		MAT. PERDIDO 3:		ERROR (%) 3:		CORRECCION 3:	
PESO INICIAL 1:																										
MAT. PERDIDO 1:																										
ERROR (%) 1:																										
CORRECCION 1:																										
PESO INICIAL 2:																										
MAT. PERDIDO 2:																										
ERROR (%) 2:																										
CORRECCION 2:																										
PESO INICIAL 3:																										
MAT. PERDIDO 3:																										
ERROR (%) 3:																										
CORRECCION 3:																										

Fuente: Propia



Tabla 27: Formato de Recolección de Datos para Ensayo Análisis Granulométrico de Agregado Grueso – Curva Granulométrica.



Fuente: Propia



Tabla 28: Formato de Recolección de Datos para Ensayo Abrasión los Ángeles al desgaste de los Agregados

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																																							
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA																																							
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																																							
<p style="text-align: center;">“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO”</p>																																							
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ÁNGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 MM (1 ½ “)	FECHA:																																					
NORMATIVA:	MTC E 207	MATERIAL:	Agregado Grueso																																				
UBICACIÓN:		CANTERA:	Morro Blanco - San Salvador																																				
RESPONSABLES:																																							
CALCULOS																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">MEDIDA DEL TAMIZ</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">QUE PASA</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">RETENIDO SOBRE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">37.5 mm</td> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">25 mm</td> <td style="text-align: center;">1"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">25 mm</td> <td style="text-align: center;">1"</td> <td style="text-align: center;">19 mm</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">19 mm</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">12.5 mm</td> <td style="text-align: center;">1/2"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12.5 mm</td> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">9.5 mm</td> <td style="text-align: center;">3/8"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9.5 mm</td> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">6.3 mm</td> <td style="text-align: center;">1/4"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6.3 mm</td> <td style="text-align: center;">1/4"</td> <td style="text-align: center;">4.75 mm</td> <td style="text-align: center;">N° 4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4.75 mm</td> <td style="text-align: center;">N° 4</td> <td style="text-align: center;">2.36 mm</td> <td style="text-align: center;">N° 8</td> </tr> </tbody> </table>				MEDIDA DEL TAMIZ				QUE PASA		RETENIDO SOBRE		37.5 mm	1 1/2"	25 mm	1"	25 mm	1"	19 mm	3/4"	19 mm	3/4"	12.5 mm	1/2"	12.5 mm	1/2"	9.5 mm	3/8"	9.5 mm	3/8"	6.3 mm	1/4"	6.3 mm	1/4"	4.75 mm	N° 4	4.75 mm	N° 4	2.36 mm	N° 8
MEDIDA DEL TAMIZ																																							
QUE PASA		RETENIDO SOBRE																																					
37.5 mm	1 1/2"	25 mm	1"																																				
25 mm	1"	19 mm	3/4"																																				
19 mm	3/4"	12.5 mm	1/2"																																				
12.5 mm	1/2"	9.5 mm	3/8"																																				
9.5 mm	3/8"	6.3 mm	1/4"																																				
6.3 mm	1/4"	4.75 mm	N° 4																																				
4.75 mm	N° 4	2.36 mm	N° 8																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">GRADACION</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">A</th> <th style="text-align: center;">B</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1250</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1250</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1250</td> <td style="text-align: center;">2500</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1250</td> <td style="text-align: center;">2500</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">2500</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">2500</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">5000</td> </tr> </tbody> </table>				GRADACION				A	B	C	D	1250	-	-	-	1250	-	-	-	1250	2500	-	-	1250	2500	-	-	-	-	2500	-	-	-	2500	-	-	-	-	5000
GRADACION																																							
A	B	C	D																																				
1250	-	-	-																																				
1250	-	-	-																																				
1250	2500	-	-																																				
1250	2500	-	-																																				
-	-	2500	-																																				
-	-	2500	-																																				
-	-	-	5000																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Peso Total</td> <td></td> <td style="text-align: right;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Velocidad</td> <td style="text-align: center;">30 - 33</td> <td style="text-align: right;">rpm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N° de esferas</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N° de revoluciones</td> <td style="text-align: center;">500</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tiempo de rotacion</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: right;">min</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Peso Inicial (Peso total de la muestra)</td> <td></td> <td style="text-align: right;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Peso Final (Peso de material de desgaste)</td> <td></td> <td style="text-align: right;">gr</td> </tr> </tbody> </table>				Peso Total		gr	Velocidad	30 - 33	rpm	N° de esferas	11		N° de revoluciones	500		Tiempo de rotacion	15	min	Peso Inicial (Peso total de la muestra)		gr	Peso Final (Peso de material de desgaste)		gr															
Peso Total		gr																																					
Velocidad	30 - 33	rpm																																					
N° de esferas	11																																						
N° de revoluciones	500																																						
Tiempo de rotacion	15	min																																					
Peso Inicial (Peso total de la muestra)		gr																																					
Peso Final (Peso de material de desgaste)		gr																																					
RESULTADOS																																							
% DESGASTE (% ABRASION)		%																																					
OBSERVACIONES																																							

Fuente: Propia





Tabla 29: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Porcentaje de Partículas Fracturadas.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
Tesis:						
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".						
ENSAYO:	PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS					
NORMATIVA:	MTC E 210					
UBICACION:						
FECHA:						
MATERIAL:	AGREGADO GRUESO					
CANTERA:	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR-PISAQ					
RESPONSABLES:						
PARA UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO (gr)	FRACTURADAS (gr)	FRACTURADAS(%)	RETENIDO (%)	PROMEDIO DE FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
TOTAL						
PORCENTAJE DE UNA CARA FRACTURADA					%	
PARA DOS O MÁS CARAS FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO (gr)	FRACTURADAS (gr)	FRACTURADAS(%)	RETENIDO (%)	PROMEDIO DE FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
TOTAL						
PORCENTAJE DE UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS					%	
OBSERVACIONES						

Fuente: Propia





Tabla 30: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de Agregado Grueso

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
<p style="text-align: center;">"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO"</p>								
ENSAYO:	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO GRUESO							
NORMATIVA:	MTC E 209							
UBICACIÓN:								
FECHA:								
MATERIAL:	AGREGADO GRUESO							
CANTERA:	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ							
RESPONSABLES:								
CALCULOS								
TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDAS DE PESO		GRADACION ORIGINAL	ESCALORADO ORIGINAL	PERDIDAS CORREGIDAS
Pasa - Ret.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	%			
3/4" - 1/2"	670 ± 10							
1/2" - 3/8"	300 ± 5							
3/8" - N°4	300 ± 5							
				TOTAL				
RESULTADOS								
PERDIDA TOTAL								
OBSERVACIONES								

Fuente: Propia





Tabla 31: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos

 <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 						
Tesis:						
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".						
<b>ENSAYO:</b>	PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS					
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 206					
<b>UBICACION:</b>						
<b>FECHA:</b>						
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO GRUESO					
<b>CANTERA:</b>	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ					
<b>RESPONSABLES:</b>						
<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO</b>						
PESOS	DESCRIPCION	UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso de la muestra seca	gr				
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr				
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr				
Gsb	Peso específico de masa bulk	A/(B-C) gr/cm <sup>3</sup>				
Gsss	Peso específico de masa saturada con superficie seca	B/(B-C) gr/cm <sup>3</sup>				
Gsa	Peso específico aparente	A/(A-C) gr/cm <sup>3</sup>				
Abs	Absorción	(B-A)/A*100 %				
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>						
Peso específico de masa bulk (Gsb)						
Peso específico de masa saturada con superficie seca(Gsss)						
Peso específico aparente (Gsa)						
% Absorción						
<b>OBSERVACIONES</b>						

Fuente: Propia



Tabla 32: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en Agregados Grueso

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b> 							
<b>“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO”</b>							
<b>ENSAYO:</b>	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS						
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 223						
<b>UBICACIÓN:</b>							
<b>FECHA:</b>							
<b>MATERIAL</b>	AGREGADO GRUESO						
<b>CANTERA:</b>	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ						
<b>RESPONSABLES:</b>							
<b>CALCULOS</b>							
<b>ALARGADAS</b>							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAL
PASA	RETIENE	gr.			gr.	gr.	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
TOTALES							
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6;"><b>IAL</b></td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> </table>		<b>IAL</b>					
<b>IAL</b>							
<b>CHATAS</b>							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAP
PASA	RETIENE	gr.			gr.	gr.	
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"						
TOTALES							
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6;"><b>IAP</b></td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> </table>		<b>IAP</b>					
<b>IAP</b>							
<b>OBSERVACIONES</b>							

Fuente: Propia



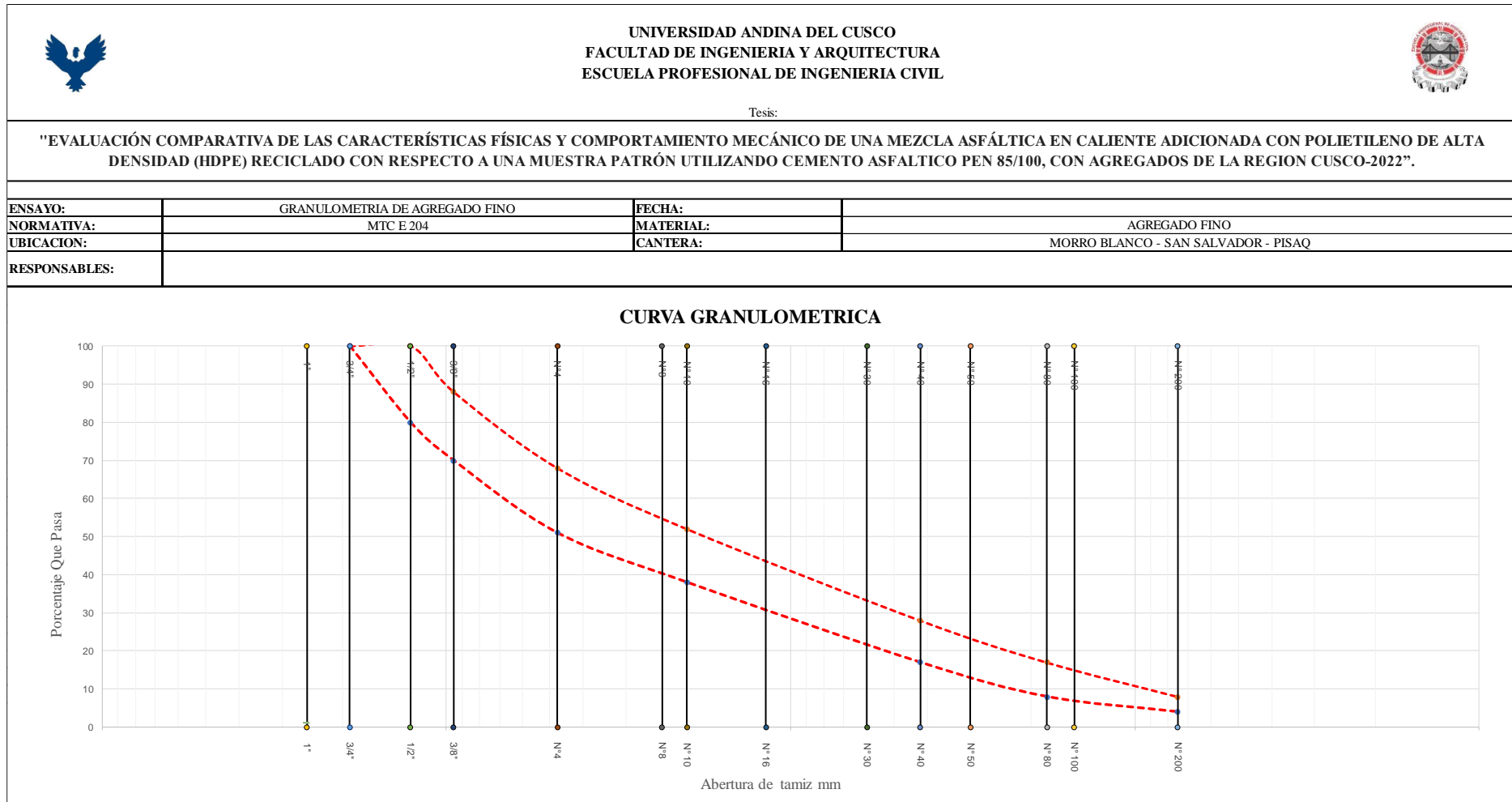
Tabla 33: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>														
Tesis:															
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".															
ENSAYO:	GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO	FECHA:													
NORMATIVA:	MTC E 204	MATERIAL:	AGREGADO FINO												
UBICACION:		CANTERA:	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ												
RESPONSABLES:															
<b>GRANUMETRIA DE AGREGADO FINO</b>															
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	Lim. Infer.	Lim. Sup.
1"	25.40														
3/4"	19.05													100.00	100.00
1/2"	12.70													80.00	100.00
3/8"	9.53													70.00	88.00
N°4	4.76													51.00	68.00
N°8	2.36														
N°10	2													38.00	52.00
N°16	1.18														
N°30	0.6														
N°40	0.42													17.00	28.00
N°50	0.3														
N°80	0.18													8.00	17.00
N°100	0.15														
N°200	0.07													4.00	8.00
Fondo															
TOTAL															
PESO INICIAL 1:				PESO INICIAL 2:				PESO INICIAL 3:							
MAT. PERDIDO 1:				MAT. PERDIDO 2:				MAT. PERDIDO 3:							
ERROR (%) 1:				ERROR (%) 2:				ERROR (%) 3:							
CORRECCION 1:				CORRECCION 2:				CORRECCION 3:							

Fuente: Propia



Tabla 34: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco



Fuente: Propia



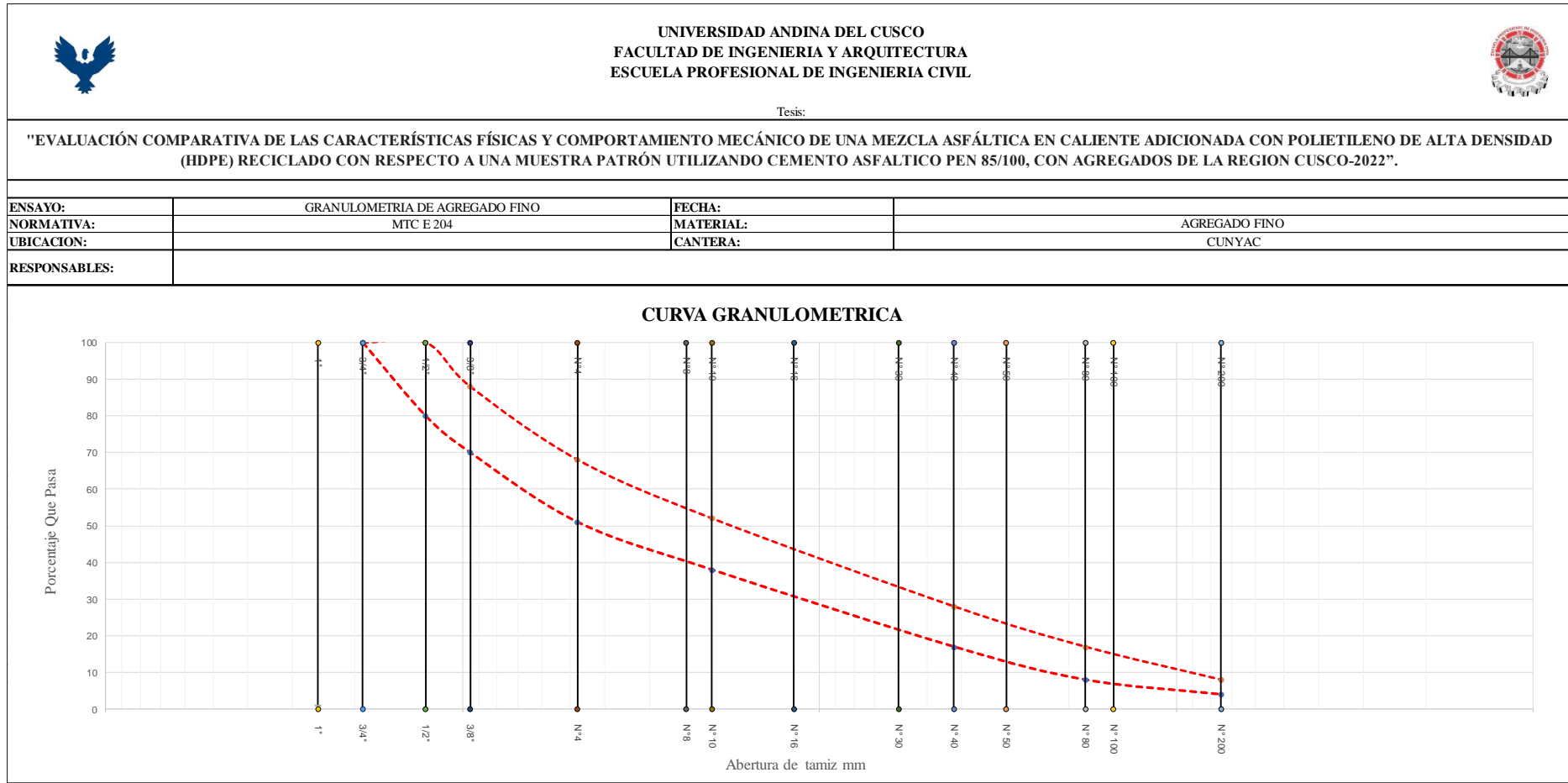
Tabla 35 :Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>															
Tesis:															
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".															
ENSAYO:	GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO						FECHA:								
NORMATIVA:	MTC E 204						MATERIAL:	AGREGADO FINO							
UBICACION:							CANTERA:	CUNYAC							
RESPONSABLES:															
<b>GRANUMETRIA DE AGREGADO FINO</b>															
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	Lim. Infer.	Lim. Sup.
1"	25.40														
3/4"	19.05													100.00	100.00
1/2"	12.70													80.00	100.00
3/8"	9.53													70.00	88.00
N°4	4.76													51.00	68.00
N°8	2.36														
N°10	2													38.00	52.00
N°16	1.18														
N°30	0.6														
N°40	0.42													17.00	28.00
N°50	0.3														
N°80	0.18													8.00	17.00
N°100	0.15														
N°200	0.07													4.00	8.00
Fondo															
TOTAL															
PESO INICIAL 1:				PESO INICIAL 2:				PESO INICIAL 3:							
MAT. PERDIDO 1:				MAT. PERDIDO 2:				MAT. PERDIDO 3:							
ERROR (%) 1:				ERROR (%) 2:				ERROR (%) 3:							
CORRECCION 1:				CORRECCION 2:				CORRECCION 3:							

Fuente: Propia



Tabla 36: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac





Fuente: Propia






Tabla 37: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Determinación del Limite Liquido - Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad – Arena Triturada de Morro Blanco

 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 			
Tesis:			
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".			
<b>ENSAYO:</b>	DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO - DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) E INDICE DE PLASTICIDAD		
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 110 - MTC E 111		
<b>UBICACION:</b>			
<b>FECHA:</b>			
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO		
<b>CANTERA:</b>	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ		
<b>RESPONSABLES:</b>			
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>			
<b>LÍMITE LIQUIDO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
Codigo de recipiente			
Peso del recipiente			
Recipiente + Suelo Humedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso del agua			
Peso suelo humedo			
Peso superficialmente seco			
% de humedad			
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD</b>		%	
<b>LÍMITE PLASTICO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
N golpes			
Codigo de recipiente			
Peso del recipiente			
Recipiente + Suelo humedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso agua			
Peso suelo humedo			
Peso superficialmente seco			
% de humedad			
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD</b>		%	
<b>RESULTADOS</b>			
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>			
<b>OBSERVACIONES</b>			

Fuente: Propia





Tabla 38: N Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Determinación del Limite Liquido - Determinación del Limite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad – Arena Natura de Cunyac

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
Tesis:			
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".			
<b>ENSAYO:</b>	DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO - DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) E INDICE DE PLASTICIDAD		
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 110 - MTC E 111		
<b>UBICACION:</b>			
<b>FECHA:</b>			
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO		
<b>CANTERA:</b>	CUNYAC		
<b>RESPONSABLES:</b>			
INDICE DE PLASTICIDAD			
LÍMITE LIQUIDO			
DESCRIPCION	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
Codigo de recipiente			
Peso del recipiente			
Recipiente + Suelo Humedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso del agua			
Peso suelo humedo			
Peso superficialmente seco			
% de humedad			
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD</b>	%		
LÍMITE PLASTICO			
DESCRIPCION	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
N golpes			
Codigo de recipiente			
Peso del recipiente			
Recipiente + Suelo humedo			
Recipiente + Suelo Seco			
Peso agua			
Peso suelo humedo			
Peso superficialmente seco			
% de humedad			
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD</b>	%		
RESULTADOS			
INDICE DE PLASTICIDAD			
OBSERVACIONES			

Fuente: Propia





Tabla 39: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Sodio Y Sulfato de Magnesio de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco

 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 								
Tesis:								
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".								
ENSAYO:	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADO FINO							
NORMATIVA:	MTC E 209							
UBICACION:								
FECHA:								
MATERIAL:	AGREGADO FINO							
CANTERA:	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ							
RESPONSABLES:								
<b>DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO</b>								
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PÉRDIDAS DE PESO		GRADACION ORIGINAL	ESCALORADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM				(gr)	(%)			
3/8"-N°4	100							
N°4-N°8	100							
N°8-N°16	100							
N°16-N°30	100							
N°30-N°50	100							
N°50-N°100	100							
				<b>TOTAL</b>				
OBSERVACIONES								

Fuente: Propia





Tabla 40: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Sodio Y Sulfato de Magnesio de Agregado Fino – Arena Natura de Cunnyac

 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 								
Tesis:								
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".								
ENSAYO:	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADO FINO							
NORMATIVA:	MTC E 209							
UBICACION:								
FECHA:								
MATERIAL:	AGREGADO FINO							
CANTERA:	CUNYAC							
RESPONSABLES:								
<b>RABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO</b>								
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PÉRDIDAS DE PESO		GRADACION ORIGINAL	ESCALORADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM				(gr)	(%)			
3/8"-N°4	100							
N°4-N°8	100							
N°8-N°16	100							
N°16-N°30	100							
N°30-N°50	100							
N°50-N°100	100							
				TOTAL				
OBSERVACIONES								

Fuente: Propia



Tabla 41: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos– Arena Triturada de Morro Blanco

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b> 						
<p align="center">“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO”</p>						
<b>ENSAYO:</b>	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS					
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 205					
<b>UBICACIÓN:</b>						
<b>FECHA:</b>						
<b>MATERIAL</b>	AGREGADO FINO					
<b>CANTERA:</b>	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ					
<b>RESPONSABLES:</b>						
<b>CALCULOS</b>						
<b>PESOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso de la muestra seca	gr				
<b>B</b>	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr				
<b>C</b>	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr				
<b>D</b>	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr				
<b>Gsb</b>	Gravedad Especifica Bulk	$A/(B+D-C)$	gr/cm3			
<b>Gsssb</b>	Gravedad Especifica saturada superficialmente seco Bulk	$D/(B+D-C)$	gr/cm3			
<b>Gsa</b>	Gravedad Especifica Aparente	$A/(B+A-C)$	gr/cm3			
<b>Abs</b>	Absorción	$(D-A)/A*100$	%			
<b>OBSERVACIONES</b>						

Fuente: Propia





Tabla 42: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos – Arena Natura de Cunyac

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
<b>“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO”</b>						
<b>ENSAYO:</b>	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS					
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 205					
<b>UBICACIÓN:</b>						
<b>FECHA:</b>						
<b>MATERIAL</b>	AGREGADO FINO					
<b>CANTERA:</b>	CUNYAC					
<b>RESPONSABLES:</b>						
<b>CALCULOS</b>						
<b>PESOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>A</b>	Peso de la muestra seca	gr				
<b>B</b>	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr				
<b>C</b>	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr				
<b>D</b>	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr				
<b>Gsb</b>	Gravedad Especifica Bulk	$A/(B+D-C)$	gr/cm3			
<b>Gsssb</b>	Gravedad Especifica saturada superficialmente seco Bulk	$D/(B+D-C)$	gr/cm3			
<b>Gsa</b>	Gravedad Especifica Aparente	$A/(B+A-C)$	gr/cm3			
<b>Abs</b>	Absorcion	$(D-A)/A*100$	%			
<b>OBSERVACIONES</b>						

Fuente: Propia





Tabla 43: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Método de Ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Agregado Fino – Arena Triturada de Morro Blanco

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b> 			
“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO”			
<b>ENSAYO:</b>	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO		
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 114		
<b>UBICACIÓN:</b>			
<b>FECHA:</b>			
<b>MATERIAL</b>	AGREGADO FINO		
<b>CANTERA:</b>	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ		
<b>RESPONSABLES:</b>			
<b>CALCULOS</b>			
MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
	(Pulg.)	(Pulg.)	(Pulg.)
Altura de pison			
Altura de arcilla			
Altura de arena			
<b>RESULTADOS</b>			
Muestra 1			
Muestra 2			
Muestra 3			
Valor Equivalente de Arena			
<b>OBSERVACIONES</b>			

Fuente: Propia



Tabla 44: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Método de Ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Agregado Fino – Arena Natura de Cunyac

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b> 			
<b>“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO”</b>			
<b>ENSAYO:</b>	METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO		
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 114		
<b>UBICACIÓN:</b>			
<b>FECHA:</b>			
<b>MATERIAL</b>	AGREGADO FINO		
<b>CANTERA:</b>	CUNYAC		
<b>RESPONSABLES:</b>			
<b>CALCULOS</b>			
MUESTRA	MUESTRA 1 (Pulg.)	MUESTRA 2 (Pulg.)	MUESTRA 3 (Pulg.)
	(Pulg.)	(Pulg.)	(Pulg.)
Altura de pison			
Altura de arcilla			
Altura de arena			
<b>RESULTADOS</b>			
Muestra 1			
Muestra 2			
Muestra 3			
Valor Equivalente de Arena			
<b>OBSERVACIONES</b>			

Fuente: Propia





Tabla 45: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Granulometría de Combinación de Agregados Grueso - Fino

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL														
Tesis:														
<b>"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".</b>														
ENSAYO:	GRANULOMETRIA DE COMBINACION DE AGREGADOS													
NORMATIVA:	MTC E 204													
UBICACION:														
FECHA:														
MATERIAL:	AGREGADO FINO - GRUESO													
CANTERA:	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ Y CUNYAC													
RESPONSABLES:														
<b>GRANULOMETRIA DE LA MEZCLA DE SUELOS</b>														
TAMIZ MALLA N°	ABERTUR A M.M	% RET. GRUESO (MATERIAL GRANULAR)	PESO RETENIDO (M. GRANULAR)	% RET.FINO MB (LIGANTE)	PESO RETENIDO (LIGANTE)	% RET.CUNYAC (LIGANTE)	PESO CUNYAC (LIGANTE)	PESO (FILER)	GRANULOMETRIA COMBINADA			ESPECIFICACION GRADACION - MAC 2		
									% RET. COMBINADO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	Lim. Infer.	Lim. Super.	
1"	25.400													
3/4"	19.050											100	100	
1/2"	12.700											80	100	
3/8"	9.525											70	88	
N°4	4.760											51	68	
N° 10	2.000											38	52	
N° 40	0.420											17	28	
N° 80	0.180											8	17	
N° 200	0.075											4	8	
<# 200														
Suma Total														
<b>PROPORCION DE MEZCLA DE ARIDOS</b>														
		(%) A. GRUESO MB			(%) AF. MB			(%) AF. CUNYAC			(%) FILLER			
		[ ]			[ ]			[ ]			[ ]			

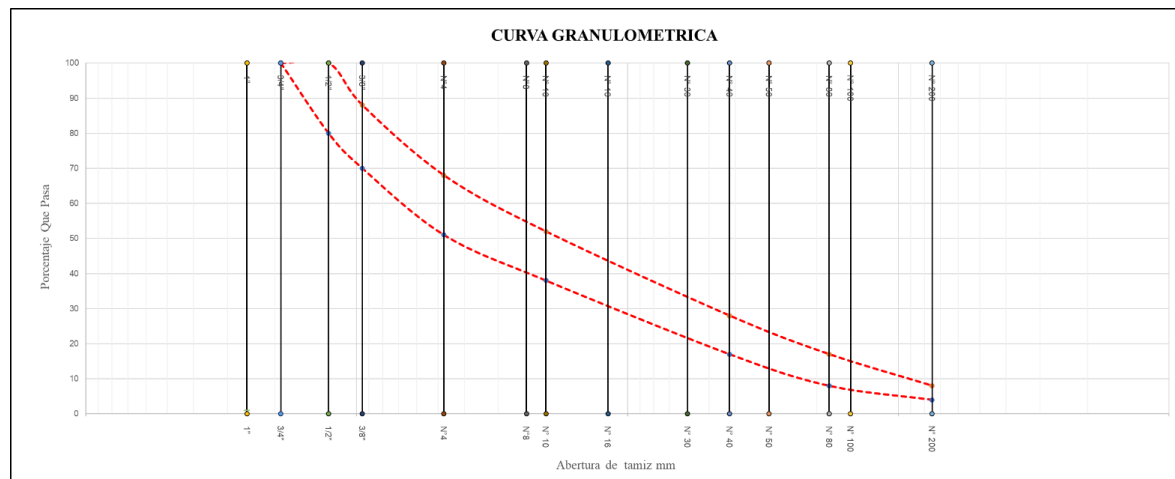
Fuente: Propia



Tabla 46: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Granulometría de Combinación de Agregados Grueso y Fino – Curva  
Granulométrica

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
Tesis: <b>"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".</b>		
<b>ENSAYO:</b>	GRANULOMETRIA DE COMBINACION DE AGREGADOS	
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 204	
<b>UBICACION:</b>		
<b>FECHA:</b>		
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO - GRUESO	
<b>CANTERA:</b>	MORRO BLANCO - SAN SALVADOR - PISAQ Y CUNYAC	
<b>RESPONSABLES:</b>		



CURVA GRANULOMETRICA DE LA MEZCLA DE SUELOS / FRANJAS GRANULOMETRICAS MAC	Gradacion - MAC 2
---	-------------------



Fuente: Propia



Tabla 47: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Penetración de Materiales Bituminosos

 <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 			
Tesis:			
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".			
<b>ENSAYO:</b>	PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS		
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 304		
<b>UBICACION:</b>			
<b>FECHA:</b>			
<b>MATERIAL:</b>	ASFALTO PEN 85/100		
<b>CANTERA:</b>	COPESCO		
<b>RESPONSABLES:</b>			
<b>PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS</b>			
<b>TEMPERATURA DE MATERIAL</b>			
<b>MUESTRA 1</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>
PENETRACION			
PROMEDIO			
<b>MUESTRA 1</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>
PENETRACION			
PROMEDIO			
<b>MUESTRA 1</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>
PENETRACION			
PROMEDIO			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>VALOR DE PENETRACIÓN FINAL</b>			
<b>OBSERVACIONES</b>			

Fuente: Propia



Tabla 48: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Peso Específico Aparente y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Saturados con Superficie Seca

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</p> 				
Tesis:				
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".				
ENSAYO:	PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA			
NORMATIVA:	MTC E 514			
UBICACION:	LABORATORIO UAC			
FECHA:				
MATERIAL:	MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS			
CANTERA:	-			
RESPONSABLES:				
<b>PROBETA</b>	<b>Wd</b>	<b>Wssd</b>	<b>Wsumergido</b>	<b>Gmb</b>
1 - 4.00%				
2 - 4.00%				
3 - 4.00%				
4 - 4.00%				
5 - 4.00%				
<b>PROMEDIO</b>				
<b>PROBETA</b>	<b>Wd</b>	<b>Wssd</b>	<b>Wsumergido</b>	<b>Gmb</b>
1 - 4.50%				
2 - 4.50%				
3 - 4.50%				
4 - 4.50%				
5 - 4.50%				
<b>PROMEDIO</b>				
<b>PROBETA</b>	<b>Wd</b>	<b>Wssd</b>	<b>Wsumergido</b>	<b>Gmb</b>
1 - 5.00%				
2 - 5.00%				
3 - 5.00%				
4 - 5.00%				
5 - 5.00%				
<b>PROMEDIO</b>				
<b>PROBETA</b>	<b>Wd</b>	<b>Wssd</b>	<b>Wsumergido</b>	<b>Gmb</b>
1 - 5.50%				
2 - 5.50%				
3 - 5.50%				
4 - 5.50%				
5 - 5.50%				
<b>PROMEDIO</b>				
<b>PROBETA</b>	<b>Wd</b>	<b>Wssd</b>	<b>Wsumergido</b>	<b>Gmb</b>
1 - 6.00%				
2 - 6.00%				
3 - 6.00%				
4 - 6.00%				
5 - 6.00%				
<b>PROMEDIO</b>				
<b>PROBETA</b>	<b>Wd</b>	<b>Wssd</b>	<b>Wsumergido</b>	<b>Gmb</b>
1 - 6.50%				
2 - 6.50%				
3 - 6.50%				
4 - 6.50%				
5 - 6.50%				
<b>PROMEDIO</b>				
OBSERVACIONES				

Fuente: Propia





Tabla 49: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL															
Tesis:															
<b>"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO-2022".</b>															
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL														
<b>NORMATIVA:</b>	MTC E 504														
<b>UBICACION:</b>	LABORATORIO UAC														
<b>FECHA:</b>															
<b>MATERIAL:</b>	MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS														
<b>CANTERA:</b>	-														
<b>RESPONSABLES:</b>															
NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO	DIAMETRO (cm)				DIAMETRO PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
	H1	H2	H3	H4		D1	D2	D3	D4						
MUESTRA 1 (4%)															
MUESTRA 2 (4%)															
MUESTRA 3 (4%)															
MUESTRA 4 (4%)															
MUESTRA 5 (4%)															
<b>Promedio</b>															
MUESTRA 1 (4.5%)															
MUESTRA 2 (4.5%)															
MUESTRA 3 (4.5%)															
MUESTRA 4 (4.5%)															
MUESTRA 5 (4.5%)															
<b>Promedio</b>															
MUESTRA 1 (5%)															
MUESTRA 2 (5%)															
MUESTRA 3 (5%)															
MUESTRA 4 (5%)															
MUESTRA 5 (5%)															
<b>Promedio</b>															
MUESTRA 1 (5.5%)															
MUESTRA 2 (5.5%)															
MUESTRA 3 (5.5%)															
MUESTRA 4 (5.5%)															
MUESTRA 5 (5.5%)															
<b>Promedio</b>															
MUESTRA 1 (6%)															
MUESTRA 2 (6%)															
MUESTRA 3 (6%)															
MUESTRA 4 (6%)															
MUESTRA 5 (6%)															
<b>Promedio</b>															
MUESTRA 1 (6.5%)															
MUESTRA 2 (6.5%)															
MUESTRA 3 (6.5%)															
MUESTRA 4 (6.5%)															
MUESTRA 5 (6.5%)															
<b>Promedio</b>															

Fuente: Propia



Tabla 50: Formato de Recolección de Datos para Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por Humedad

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 									
"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION DEL CUSCO"									
ENSAYO:	RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD								
NORMATIVA:	MTC E 522								
UBICACIÓN:									
FECHA:									
MATERIAL:	ESPECIMENES MARSHALL								
CANTERA:									
RESPONSABLES:									
MUESTRAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES									
CONDICION SECA				CONDICION SATURADA					
NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3		
Altura 1				Altura 1					
Altura 2				Altura 2					
Altura 3				Altura 3					
Altura 4				Altura 4					
Promedio Altura				Promedio Altura					
Diametro 1				Diametro 1					
Diametro 2				Diametro 2					
Diametro 3				Diametro 3					
Diametro 4				Diametro 4					
Promedio diametro				Promedio diametro					
CARGA DE ROTURA (N)				CARGA DE ROTURA (N)					
TRACCION INDIRECTA (Kpa)				TRACCION INDIRECTA (Kpa)					
PROMEDIO TRACCION INDIRECTA				PROMEDIO TRACCION INDIRECTA					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="background-color: #d9e1f2;">TSR %</td> <td style="width: 200px;"></td> </tr> </table>				TSR %					
TSR %									
OBSERVACIONES									

Fuente: Propia



### 3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

Para la presente investigación se realizaron diferentes ensayos teniendo como instrumentos los siguientes:

Tabla 51: Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado grueso

MATERIAL	ENSAYO	NORMATIVA	INSTRUMENTOS
AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA DE MORRO BLANCO)	Análisis Granulométrico de Agregado Grueso	MTC E 204	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamizador mecánico</li> <li>• Tamices normalizados ASTM</li> <li>• Balanza de precisión de 0.1 gr</li> <li>• Escobilla</li> </ul>
	Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½ “)	MTC E 207	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices</li> <li>• Balanza</li> <li>• Máquina de desgaste de los ángeles</li> <li>• Esferas de acero,</li> <li>• Horno</li> <li>• Recipientes</li> </ul>
	Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos	MTC E 206	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandejas</li> <li>• Horno</li> <li>• Franela</li> <li>• Cesta Metálica</li> <li>• Balanza de flotación</li> </ul>
	Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de Agregado Grueso	MTC E 209	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices</li> <li>• Envases</li> <li>• Balanza de precisión</li> <li>• Baño maría</li> <li>• Horno de secado</li> <li>• Solución de sulfato de Magnesio</li> <li>• Solución de sulfato de Sodio</li> </ul>
	Porcentaje de Partículas Fracturadas	MTC E 210	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices</li> <li>• Bandeja</li> <li>• Balanza</li> </ul>
	Partículas Chatas y Alargadas en Agregados	MTC E 223	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices</li> <li>• Balanza</li> <li>• Calibrador proporcional</li> <li>• Brocha</li> <li>• Escobilla</li> <li>• Recipientes</li> </ul>

Fuente: Propia.



Tabla 52: Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al agregado fino

MATERIAL	ENSAYO	NORMATIVA	INSTRUMENTOS
AGREGADO FINO (ARENA TRITURADA DE MORRO BLANCO Y ARENA NATURAL DE CUNYAC)	Análisis Granulométrico de Agregado Fino	MTC E 204	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamizador mecánico</li> <li>• Tamices normalizados ASTM</li> <li>• Balanza de precisión de 0.1 gr</li> <li>• Brocha</li> </ul>
	Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos	MTC E 205	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza de precisión</li> <li>• Estufa o secadora</li> <li>• Frasco volumétrico con capacidad de 500 cm<sup>3</sup></li> <li>• Molde cónico, metálico</li> <li>• Varilla para apisonado</li> <li>• Espátula</li> <li>• Bandeja</li> </ul>
	Determinación del Limite Liquido de los Suelos	MTC E 110	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipiente de porcelana</li> <li>• Cuchara de Casagrande y acanalador</li> <li>• Calibrador (incorporado con el acanalador)</li> <li>• Taras</li> <li>• Balanza</li> <li>• Estufa</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Tamiz N° 40</li> </ul>
	Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad	MTC E 111	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espátula</li> <li>• Bowl</li> <li>• Tamiz N°40</li> <li>• Vidrio esmerilado</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Taras de humedad</li> <li>• Balanza</li> <li>• Horno</li> </ul>
	Durabilidad al Sulfato de Sodio y sulfato de Magnesio de Agregado Fino	MTC E 209	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices</li> <li>• Envases</li> <li>• Baño maría</li> <li>• Balanza de precisión</li> <li>• Horno de secado</li> <li>• Solución de sulfato de Magnesio</li> </ul>
	Método de Ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Agregado Fino	MTC E 114	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una probeta</li> <li>• Un tubo</li> <li>• Tubo</li> <li>• Un botellón</li> <li>• Dispositivo para tomar lecturas</li> <li>• Recipiente metálico,</li> <li>• Embudo</li> <li>• Reloj o cronómetro,</li> <li>• Tamiz #4</li> <li>• Solución Tipo de cloruro de calcio</li> </ul>

Fuente: Propia.



Tabla 53: Instrumentos de ingeniería usados para ensayos al cemento asfáltico PEN 85/100

MATERIAL	ENSAYO	NORMATIVA	INSTRUMENTOS
CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	Penetración de los Materiales Bituminosos	MTC E 304	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aparato de penetración</li><li>• Aguja de penetración</li><li>• Baño maría</li><li>• Taras</li><li>• Termómetro</li><li>• Horno</li></ul>

Fuente: Propia.

- Además, también se empleó el software Excel para el procesamiento de los datos obtenidos.

### 3.5 Procedimientos de Recolección de Datos

#### 3.5.1 Análisis de Agregado.

##### 3.5.1.1 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (MTC E 204)

a) Materiales y equipos:

- Tamizador mecánico
- Tamices normalizados ASTM
- Balanza de precisión de 0.1 gr
- Escobilla



*Tamizador mecánico*



*Balanza*



*Tamices normalizados*



*Escobilla.*

Figura 11: Materiales y equipos usados en el análisis granulométrico del agregado grueso



b) Preparación de la muestra:

Según norma, para la preparación se extrajo una muestra representativa de acuerdo a la MTC E 201. La recolección del material se realizó previamente de la Cantera de Morro Blanco-San Salvador.



Figura 12: Recolección de Agregado grueso de la cantera de Morro Blanco

- Método del cuarteo: Con ayuda de una pala se mezcló todo el material para poder realizar el cuarteo y así obtener una muestra representativa del agregado. La cantidad mínima de muestra se obtuvo según la siguiente tabla:

Tabla 54: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

Fuente: MTC, 2013



Figura 13: Cuarteo de agregado grueso de Morro Blanco.

- Debido a que nuestro material tiene un tamaño máximo nominal de  $\frac{1}{2}$ " , nuestra muestra representativa fue de 2kg.



Figura 14: Muestra representativa de agregado grueso a ensayar.

c) Procedimiento:

1. La selección de tamices se realizó hallando el tamaño máximo nominal y el tamaño máximo de nuestro agregado y considerando las mallas establecidas para la gradación de la MAC-2, en este caso usaremos los tamices  $\frac{3}{4}$ " ,  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{8}$ " y N°4
2. Teniendo nuestra muestra representativa lo colocamos en la serie de tamices, asegurándonos de no sobrecargar los tamices.



Figura 15: Colocación de la muestra representativa a la serie de tamices normalizados

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico durante 3 minutos.
4. Para asegurarnos que el tamizado es correcto, procedemos a realizar un tamizado manual, esto se realizó individualmente con cada tamiz.
5. Extrajimos el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado, esto con ayuda de la escobilla.



Figura 16: Extracción del material retenido en cada tamiz.

6. Finalmente pesamos el material retenido por cada tamiz utilizando una balanza de precisión de 0.1gr.

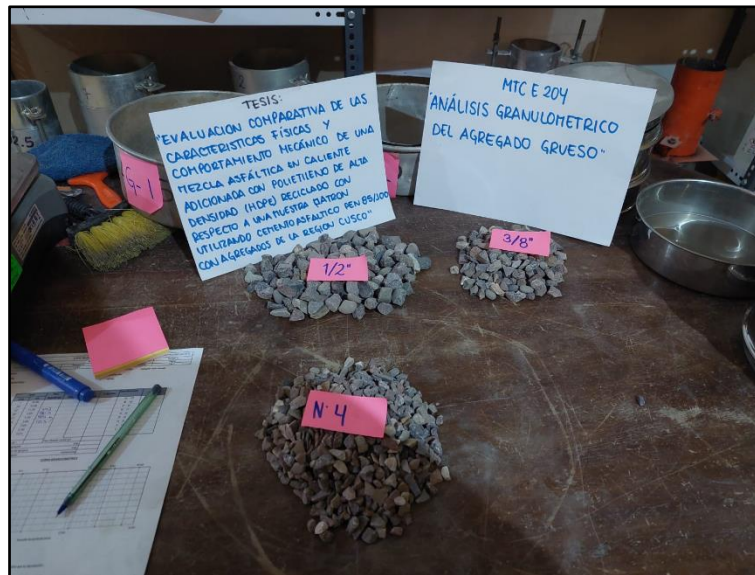


Figura 17: Gradación de agregado grueso de Morro Blanco.

d) Toma de datos:

Tabla 55: Datos recolectados del ensayo de granulometría Agregado Grueso – Morro Blanco

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO 3
ASTM	mm	gr	gr	gr
1"	25.40			
3/4"	19.05	-	-	-
1/2"	12.70	793.00	823.50	763.00
3/8"	9.53	510.50	558.00	559.00
N°4	4.76	694.50	618.00	676.00
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00
N°10	2.00	0.00	0.00	0.00
N°16	1.18	0.00	0.00	0.00
N°30	0.60	0.00	0.00	0.00
N°40	0.42	0.00	0.00	0.00
N°50	0.30	0.00	0.00	0.00
N°80	0.18	0.00	0.00	0.00
N°100	0.15	0.00	0.00	0.00
N°200	0.07	0.00	0.00	0.00
Fondo		0.00	0.00	0.00

Fuente: Propia.

### 3.5.1.2 Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½ “) (MTC E 207)

#### a) Materiales y equipos

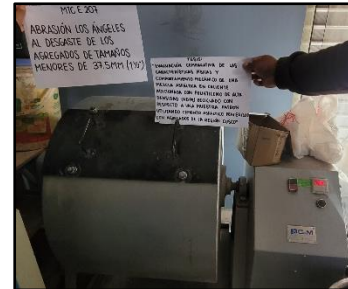
- Tamices ½” y 3/8”
- Balanza
- Máquina de desgaste de los ángeles
- Esferas de acero, de 48 mm de diámetro y peso entre 390 y 445gr.
- Horno
- Recipientes



Tamices



Balanza



Máquina los ángeles



Horno



Bandeja



Bowl

Figura 18: Equipos y materiales – Ensayo abrasión los ángeles al desgaste de los agregados

#### b) Preparación de la muestra

- a) La muestra usada en laboratorio fue cuarteada, lavada y secada en el horno a temperatura constante de 105 – 110 °C, cuyo tamaño máximo que pasa es de ¾” y retenido es de 3/8”, por tanto, se utilizará el método B.



Tabla 56: Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	--	--	--
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	--	--	--
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	--	--
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	--	--
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	--	--	2 500 ± 10	--
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	--	--	2 500 ± 10	--
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	--	--		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente MTC 2013

- b) El método B nos indica que tenemos que tener 5000 gr. en total, el cual se tamizo el material hasta llegar al peso de 2500gr de agregado que pasan por la malla de 19mm (3/4") y retenido en la malla de 12.5mm (1/2") y los otros 2500gr que pasan por la malla de 12.5mm (1/2") y retenido en la malla de 9.5mm (3/8"), que hacen un total de 5000gr de agregado, este puede tener una diferencia de  $\pm 25$ gr.

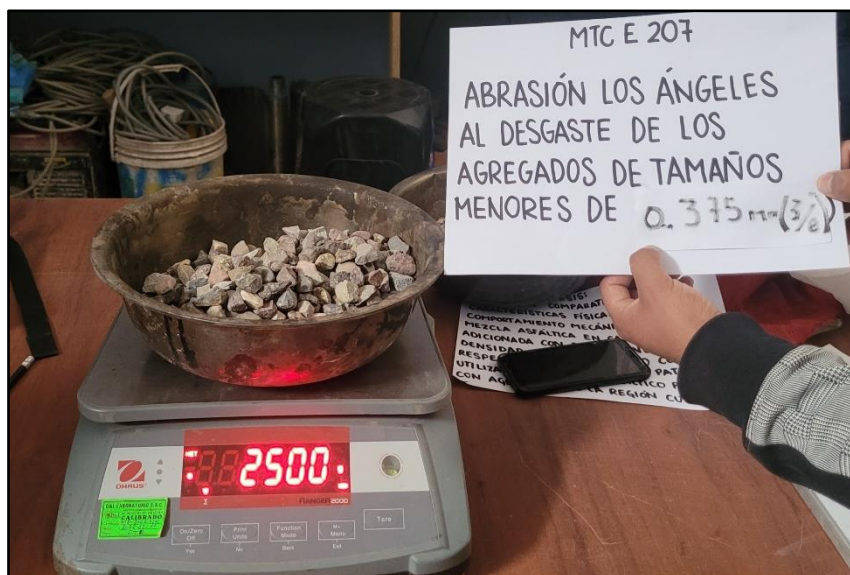


Figura 19: Agregado tamizado 3/4" - 1/2"

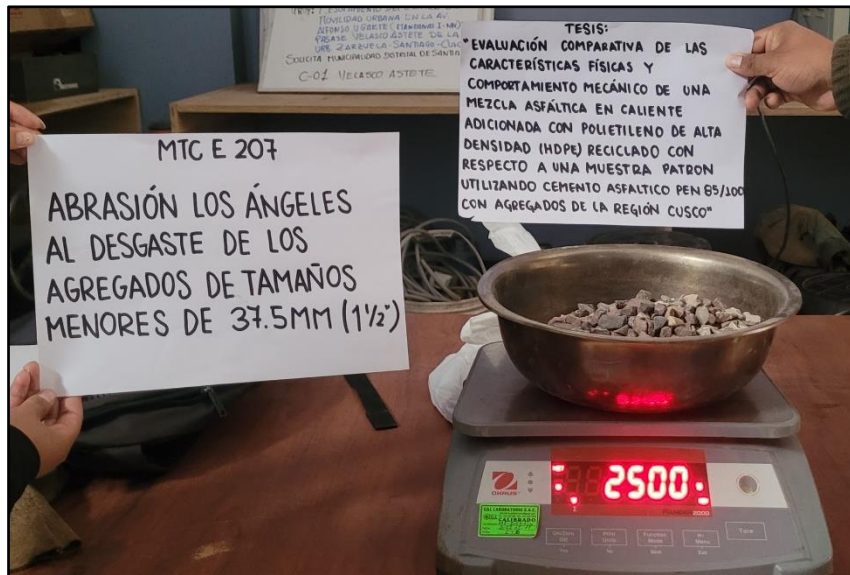


Figura 20: Agregado tamizado 1/2” - 3/8”

c) Procedimiento

1. Con el material ya pesado este se colocó en la máquina de los ángeles, el cual está programada para girar durante 15 minutos por 500 revoluciones, se puso 11 esferas de acero según el método usado teniendo en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 57: Numero de esferas según gradación

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

Fuente MTC 2013

2. Pasado el tiempo de 15 minutos se sacó el material en un recipiente el cual se tamizo por la malla #12.



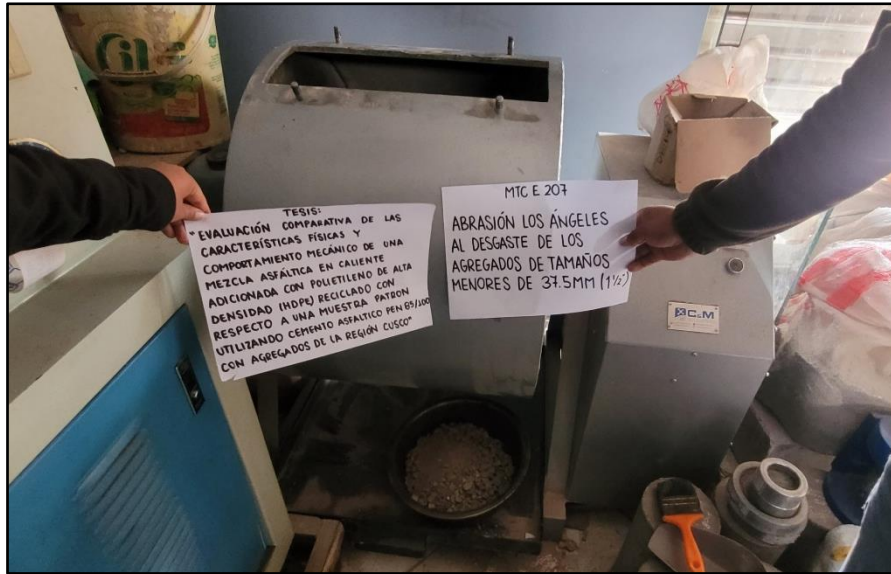


Figura 21: Muestra restante en la Maquina los ángeles

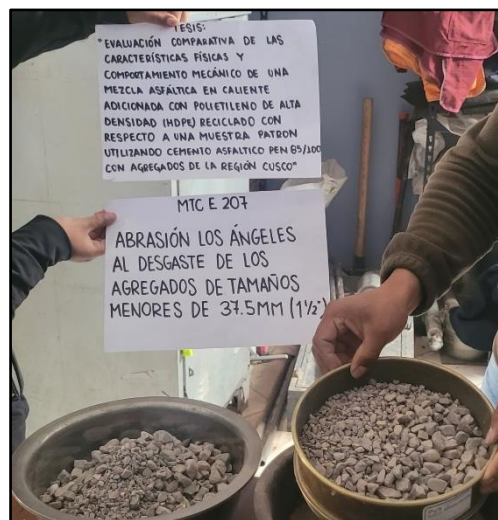


Figura 22: Muestra tamizada por la malla #12

3. Después de tamizar el material restante se lavó para poder así remover las pequeñas partículas que se adhieren al material, después de esto se colocó el material lavado en un horno por 24 horas a una temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , hasta que obtenga un peso constante, se retiró el material y lo pesamos para poder calcular la abrasión del material.

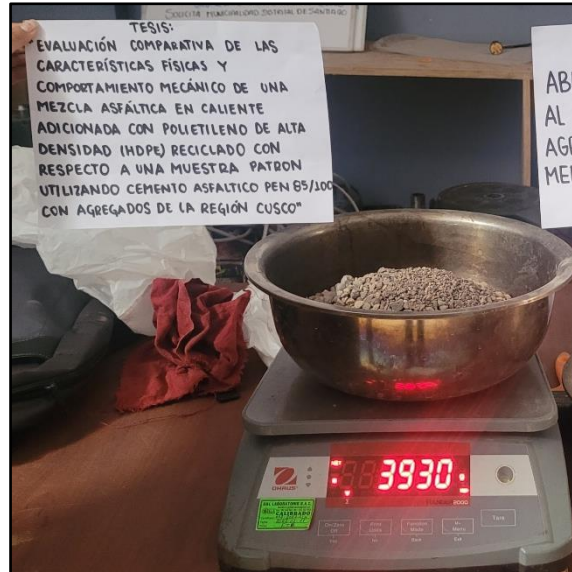


Figura 23: Muestra restante secada en horno

d) Toma de datos

Tabla 58: recolección de datos del ensayo de Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados

<b>Peso Total</b>	<b>5000.00</b>
<b>Velocidad</b>	<b>30 - 33</b>
<b>Nº de esferas</b>	<b>11.00</b>
<b>Nº de revoluciones</b>	<b>500.00</b>
<b>Tiempo de rotación</b>	<b>15.00</b>
<b>Peso Inicial (Peso total de la muestra)</b>	<b>5000.00</b>
<b>Peso Final (Peso de material de desgaste)</b>	<b>3930.00</b>

Fuente Propia

### 3.5.1.3 Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos (MTC E 206)

a) Materiales y equipos:

- Bandejas
- Horno
- Franela
- Cesta Metálica
- Balanza de flotación



Franela



Bandeja



Horno



Balanza de Flotación



Cesta metálica

Figura 24: Materiales y equipos usados en el peso específico y absorción de agregados gruesos

b) Preparación de la muestra:

1. Se realizó un tamizado en seco y se descartó todo el material que pasó el tamiz 4,75mm (N°4), luego se procedió a lavar el material para eliminar el polvo e impurezas superficiales, posteriormente se realizó el secado para obtener un peso constante.



Figura 25: Lavado de material retenido

2. El peso mínimo de la muestra a ensayar se sacó según la siguiente tabla:

Tabla 59: Peso mínimo de la muestra de ensayo para peso específico de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: (Manual de Ensayos de Materiales,2016)

3. Realizamos 3 veces el ensayo para lo cual separamos 02 kg en 3 bandejas distintas.



Figura 26: Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso

c) Procedimiento:

1. Teniendo nuestra muestra mínima seca (2kg), se sumergió el agregado en agua a una temperatura ambiente por un periodo de  $24h \pm 4hrs$ .

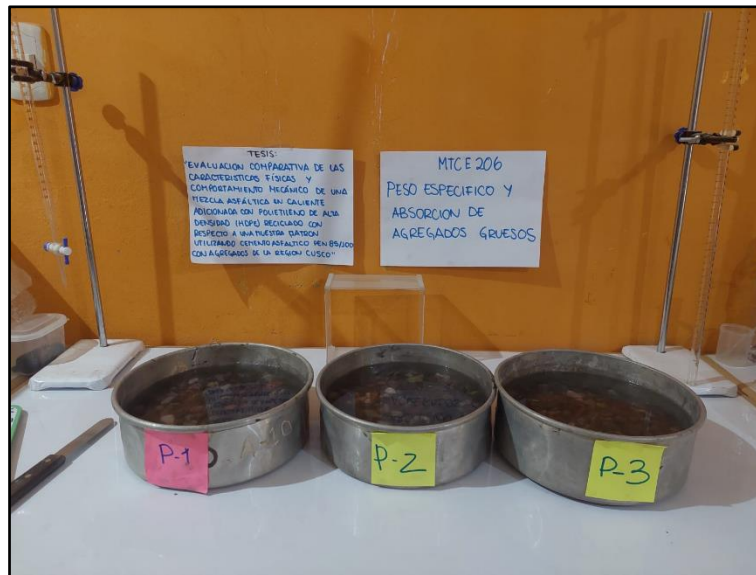


Figura 27: Material sumergido en agua.

2. Pasada las 24 hr, se procedió a retirar el material del agua y la secamos superficialmente sobre un paño absorbente hasta no tener una película de agua visible, obteniendo así el agregado en condición de saturación con superficie seca y lo pesamos.



Figura 28: Secado del material saturado superficialmente seco.

3. Después de tomar el peso, colocamos el material en una cesta metálica y determinamos su peso en agua; considerando que sacudimos el recipiente mientras se sumergía para eliminar el aire atrapado.



Figura 29: Colocación del material en la cesta metálica

d) Toma de datos:

Tabla 60: Datos recolectados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos

PESOS	DESCRIPCION	UNIDAD	1	2	3
A	Peso de la muestra seca	gr	2000.00	2000.00	2000.00
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr	2016.00	2020.00	2017.00
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr	1245.00	1233.00	1240.00

Fuente: Propia

### 3.5.1.4 Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de Agregado Grueso (MTC E 209)

a) Materiales y equipos

- Tamices
- Envases
- Balanza de precisión
- Baño maría
- Horno de secado
- Solución de sulfato de Magnesio
- Solución de sulfato de Sodio



Tamices



Balanza



Bowl



Bandeja



Horno



Sulfato de Magnesio



Baño Maria

Figura 30: Equipos y materiales – Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso.

b) Preparación de la muestra

1. El agregado grueso para este ensayo será el que quede retenido en el tamiz normalizado 4.75mm (Nº4). La muestra será de un peso que ya tamizada queden las siguientes cantidades de cada tamaño, el peso retenido de la muestra tamizada será de al menos el 5%.

Tabla 61: Pesos para usar en relación al tamiz que pasa y retenido

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Fuente MTC 2013

- De acuerdo a la tabla anterior usaremos los pesos de  $670 \pm 10$  gr. para material que pase la malla de 3/4" y retenido en la malla de 1/2",  $300 \pm 5$  gr. para el material pasante la malla 1/2" y retenido en la malla 3/8" y  $300 \pm 5$  gr para el material pasante la malla 3/8" y retenido en la N°4.



Figura 31: Peso de la muestra retenido en la malla 1/2"





3. Para la solución de sulfato de magnesio, se preparará una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25pc a 30pc. Para asegurar la saturación se agregará suficiente sal de la forma anhidra ( $MgSO_4$ ) o la forma cristalina, se agitará la mezcla completamente durante la adición de sal y en intervalos frecuentes hasta que se utilice.



Figura 32: Preparación del sulfato de magnesio

c) Procedimiento

1. Después de tener ya las muestras separadas por tamiz, se colocará la muestra en recipientes y se llenará con la solución de sulfato de magnesio hasta cubrir 1.5 cm la altura de la muestra y se dejó en baño María de 16 a 18 horas a una temperatura constante de 21°C, el recipiente se cubrirá para evitar la evaporación y la contaminación con sustancia extrañas.



Figura 33: Muestras que se ensayaran



Figura 34: Colocación de Sulfato de Magnesio en el Agregado Grueso



Figura 35: Agregado grueso sumergido en Sulfato de Magnesio

2. Pasado el tiempo se dejará escurrir durante 15 min, se lavará el material para limpiar el sulfato de magnesio, después se secará en el horno a una temperatura entre 100 a 110 °C hasta obtener un peso constante por 12 horas.



Figura 36: Muestras con sulfato de magnesio en el horno

3. Pasado el tiempo se dejará la muestra enfriar a una temperatura ambiente y se pesaron.
4. Se volvió a colocar las muestras con el sulfato de magnesio anteriormente decantado en el baño María y este mismo procedimiento se realizará durante x ciclos después del último se tomó el ultimo peso del agregado saliendo del horno y dejando enfriar

5. El mismo procedimiento se volvió a realizar durante 5 ciclos, después se tomó el peso final del agregado saliendo del horno para ver el desgaste del agregado.

d) Toma de datos:

Tabla 62: Recolección de datos del ensayo durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio del agregado grueso

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL
Pasa - Ret.	Gr.	Gr.
3/4" - 1/2"	670 ± 10	670.500
1/2" - 3/8"	300 ± 5	300.800
3/8" - N°4	300 ± 5	300.000

Fuente Propia

### 3.5.1.5 Determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas (MTC E 210)

a) Materiales y equipos:

- Tamices
- Bandeja
- Balanza



Bandeja



Tamices



Balanza

Figura 37: Materiales y equipos usados en la determinación del porcentaje de partículas fracturadas

b) Preparación de la muestra:

1. Se lavó y seco el material para eliminar finos para poder obtener a muestra representativa mediante cuarteo.
2. Separamos la fracción de nuestra comprendida por medio de tamizado entre los tamices que se muestran:

Tabla 63: Peso mínimo usado para el ensayo de determinación del porcentaje de partículas fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO	PESO EN G.
1 ½ a 1"	2000
1" a ¾"	1500
¾" a ½"	1200
½" a 3/8"	300

Fuente:( Manual de ensayo de materiales, 2016).

3. En este caso, se seleccionó 1200 gr de material pasante la 3/4" y retenido en ½", y 300 gr de material pasante ½" y retenido en 3/8" ya que el agregado es de ½"

c) Procedimiento:

1. Teniendo nuestra muestra representativa dividimos nuestro material retenido en ½" en tres categorías:

- Partículas con una cara fracturada
- Partículas con dos caras fracturadas
- Partículas sin caras fracturadas

Estas categorías se realizaron considerando las siguientes características:

- Se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de superficie de la partícula aparece fracturada.
2. Teniendo el material ya dividido en las categorías ya mencionadas se calculó el peso para así poder obtener el porcentaje de partículas fracturadas.



Figura 38: Partículas fracturadas separadas en grupo



d) Toma de datos:

Tabla 64: Datos recolectados del ensayo de determinación de porcentaje de partículas fracturadas con una cara fracturada

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(gr)	(gr)
3/4"	1/2"	921.50	915.00
1/2"	3/8"	569.50	538.50

Fuente: Propia

Tabla 65: Datos recolectados del ensayo de determinación de porcentaje de partículas fracturadas con dos o más caras fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(gr)	(gr)
3/4"	1/2"	921.50	820.30
1/2"	3/8"	569.50	510.70

Fuente: Propia

### 3.5.1.6 Partículas Chatas y Alargadas en Agregados (MTC E 223)

a) Materiales y equipos

- Tamices 9,5 mm (3/8"); 12,5mm (1/2"); 19 mm (3/4").
- Balanza
- Calibrador proporcional
- Brocha
- Escobilla
- Recipientes



Tamices



Balanza



Brocha



Brocha



Calibrador proporcional

Figura 39: Equipos y materiales – Ensayo partículas chatas y alargadas en agregados

b) Preparación de la muestra

1. El material se reducirá por cuarteo para obtener una muestra representativa la muestra seca se conformará de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 66: Peso mínimo de la muestra para ensayo

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 ½") Y 6,3 mm (1/4") kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(3/4)	2
12,5	(1/2)	1
10,0	(3/8)	0,5

Fuente MTC 2013



Figura 40: Cuarteo para obtener una muestra representativa

- De acuerdo a norma se obtuvo la muestra en función del tamaño máximo nominal, mediante a la tabla se usó el peso mínimo que es de 1000gr. en total.



Figura 41: Muestras pesadas y tamizadas

- Procedimiento
  - Se requirió secar la muestra para el ensayo en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener un peso constante, para luego proceder a realizar la separación por tamiz.





Figura 42: Muestra pesada

2. Se ensayó cada partícula para determinarlas por grupos chatas y alargadas.
  3. Para las partículas chatas se ajustó la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de las partículas, si su espesor de la partícula pasa es denominada chata.
  4. Para las partículas alargadas se ajustó la abertura mayor a la longitud de la partícula entonces si la partícula se denomina alargada si su ancho pasa por la abertura menor.
  5. Se determina el peso  $P_i$  con aproximación del 0.1% para cada fracción retenida y se colocan en bandejas separadas, las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayan.
  6. Después de separarlas en 2 grupos las partículas se pesaron de acuerdo al retenido de cada tamiz.
- d) Toma de datos

Tabla 67: Recolección de datos del ensayo de partículas chatas

CHATAS						
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL
PASA	RETIENE	gr.			gr.	gr.
3/4"	1/2"	658.70	65.87	126.00	658.70	36.80
1/2"	3/8"	341.30	34.13	168.00	341.30	29.80
TOTALES		1000.00	100.00	294.00	1000.00	66.60

Fuente Propia

Tabla 68: Recolección de datos del ensayo de partículas alargadas

ALARGADAS						
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL
PASA	RETIENE	gr.			gr.	gr.
3/4"	1/2"	658.70	65.87	126.00	658.70	10.90
1/2"	3/8"	341.30	34.13	168.00	341.30	9.10
TOTALES		1000.00	100.00	294.00	1000.00	20.00

Fuente Propia

### 3.5.1.7 Análisis Granulométrico de Agregado Fino (MTC E 204)

#### a) Materiales y equipos

- Tamizador mecánico
- Tamices normalizados ASTM
- Balanza de precisión de 0.1 gr
- Brocha



Tamizador mecánico



Tamices normalizados



Balanza



Brocha

Tabla 69: Materiales y equipos usados en el análisis granulométrico del agregado fino



b) Preparación de la muestra:

Según norma, para la preparación se extrajo una muestra representativa de acuerdo a la MTC E 201. La recolección del material se realizó previamente de la Cantera de Morro Blanco- San Salvador.

- Método del cuarteo: Con ayuda de una pala se mezcló todo el material para poder realizar el cuarteo y así obtener una muestra representativa del agregado. En este caso la cantidad de 2kg.



Figura 43: Cuarteo de la arena triturada de Morro Blanco



Figura 44: Cuarteo de la Arena natural de Cunyac



c) Procedimiento:

1. La selección de tamices se realizó considerando las mallas establecidas para la gradación de la MAC-2, en este caso usaremos los tamices N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100 y Fondo.
2. Teniendo nuestra muestra representativa lo colocamos en la serie de tamices, asegurándonos de no sobrecargar los tamices.



Figura 45: Colocación del material en la serie tamices

3. Colocamos la serie de tamices en el tamizador mecánico durante 3 minutos.
4. Para asegurarnos que el tamizado es correcto, procedemos a realizar un tamizado manual, esto se realizó individualmente con cada tamiz.
5. Extrajimos el material retenido de cada tamiz con mucho cuidado, esto con ayuda de la brocha.



Figura 46: Material retenido en el tamiz N°200



- Finalmente pesamos el material retenido por cada tamiz utilizando una balanza de precisión de 0.1gr.

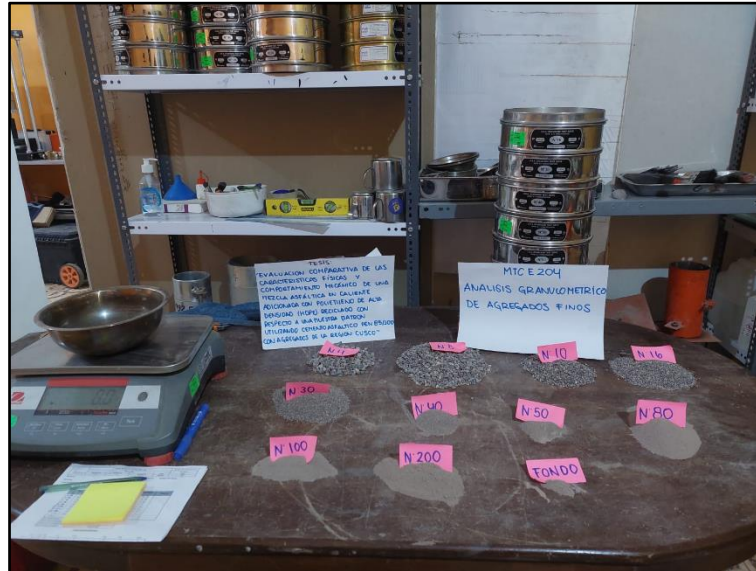


Figura 47: Gradación de la Arena triturada de Morro Blanco

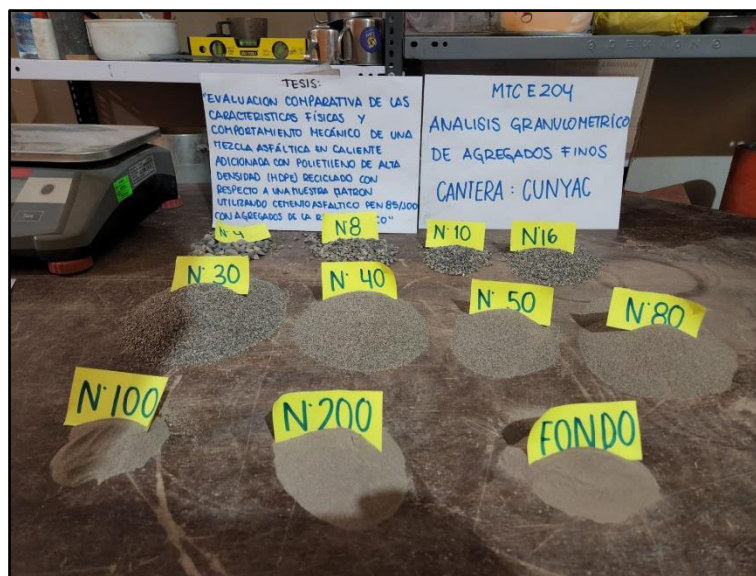


Figura 48: Gradación de la Arena natural de Cunyac



a) Toma de datos:

Tabla 70: Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos – Morro Blanco

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO 3
ASTM	mm	gr	gr	gr
1"	25.40			
3/4"	19.05			
1/2"	12.70			
3/8"	9.53			
N°4	4.76	272.50	222.00	273.00
N°8	2.36	645.00	651.50	640.50
N°10	2	212.00	216.50	210.00
N°16	1.18	236.50	269.50	245.50
N°30	0.6	195.00	219.00	210.50
N°40	0.42	70.50	70.50	69.00
N°50	0.3	41.00	41.50	42.50
N°80	0.18	170.00	155.50	160.00
N°100	0.15	43.00	52.00	42.00
N°200	0.07	101.50	96.00	102.00
Fondo		11.00	3.50	4.00

Fuente: Propia

Tabla 71: Datos recolectados del ensayo de granulometría de agregados finos – Cunyac

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO 3
ASTM	mm	gr	gr	gr
1"	25.40			
3/4"	19.05			
1/2"	12.70			
3/8"	9.53			
N°4	4.76	130.00	83.00	138.50
N°8	2.36	156.00	168.00	160.00
N°10	2	97.00	107.50	99.00
N°16	1.18	230.50	243.00	220.50
N°30	0.6	515.00	547.50	528.00
N°40	0.42	298.50	311.00	301.00
N°50	0.3	145.50	138.50	133.00
N°80	0.18	285.50	268.00	283.00
N°100	0.15	24.50	26.00	22.50
N°200	0.07	80.50	75.00	87.50
Fondo		34.50	31.00	26.00

Fuente: Propia

### 3.5.1.8 Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos (MTC E 205)

#### a) Materiales y equipos

- Balanza de precisión
- Estufa o secadora
- Frasco volumétrico con capacidad de 500 cm<sup>3</sup>
- Molde cónico, metálico de  $40 \pm 3$  mm de diámetro interior en su base menor,  $90 \pm 3$  mm de diámetro interior en una base mayor y  $75 \pm 3$  mm de altura.
- Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de  $340 \pm 15$  g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro.
- Espátula
- Bandeja



Molde y Pison



Secadora



F iola - Balanza



Bandeja



Pizeta



Embudo

Figura 49: Equipos y materiales – Gravedad específica y absorción de agregados finos

#### b) Preparación de la muestra

1. Primero se cuarteo la muestra, se mezcló todo el material uniformemente para obtener una muestra uniforme de 1kg como peso final.



Figura 50: Cuarteo de la arena triturada de Morro blanco



Figura 51: Cuarteo de la arena natural de Cunyac

2. Se colocó el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas, este procedimiento se realizó 3 veces para arena triturada de Morro blanco y 3 veces para la arena natural de Cunyac



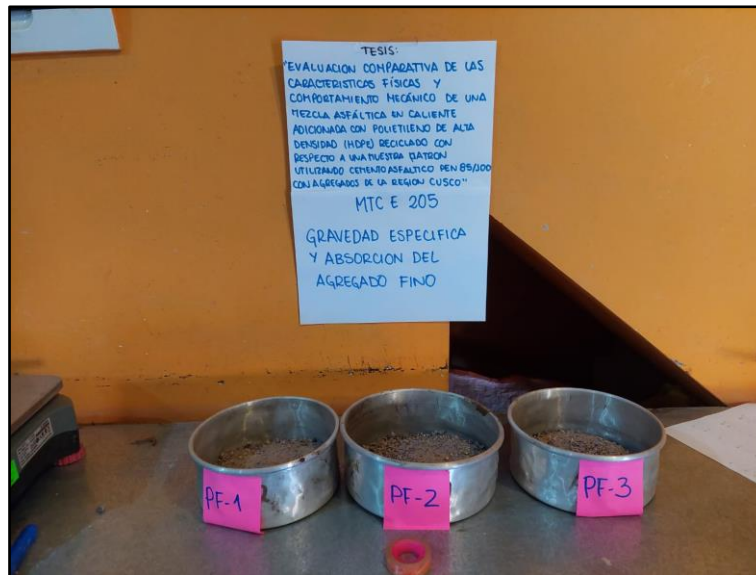


Figura 52: Muestras de Agregado fino sumergidas en agua

3. Pasadas las 24 horas se decantó el agua del material sin que se pierdan los finos después colocamos el material sobre una bandeja para poder secar el material con una estufa o secadora lentamente para poder tener una muestra en condición saturado superficialmente seco.



Figura 53: Muestra expandida en una bandeja

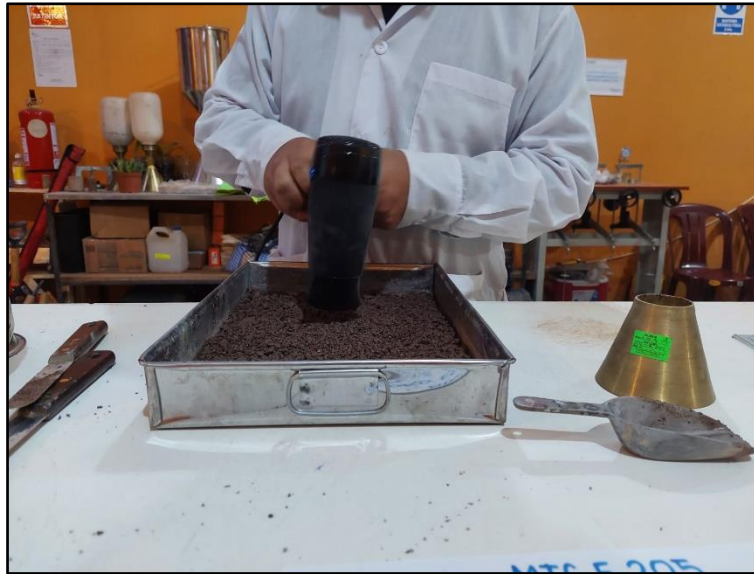


Figura 54: Secado de la muestra con secador.

4. La muestra se probará con el molde cónico varias veces después del secado para ver si la condición de superficialmente seca se cumple ya que las partículas con se juntarán entre sí, para eso colocaremos el molde cónico y dentro de este la arena continuando se golpeará o dejará caer el apisonador 25 veces para después levantar el molde. Si el material mantiene la forma del molde el material aún no está en la condición de SSS. cuando el material se derrumbe al sacar el molde esto nos indicara que el material ya se encuentra saturado superficialmente seco, por tanto, podemos continuar con el ensayo



Figura 55: Muestra en condición Saturada Superficialmente Seco



c) Procedimiento

1. Se peso la fiola vacía

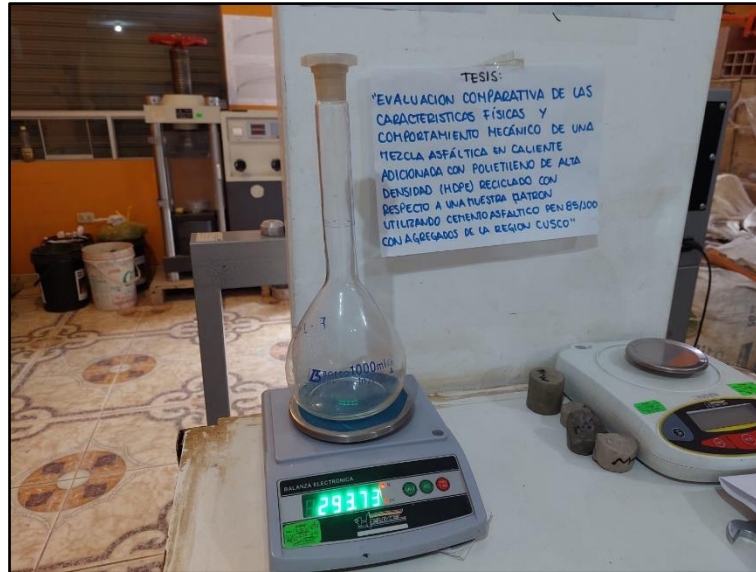


Figura 56: Peso de la fiola vacía

2. Introducir en el frasco una muestra de 500gr. de material preparado, después se llenó parcialmente con agua a una temperatura de 23°C hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>, se agito el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual, de 15 a 20 se agito la fiola para eliminar todas las burbujas de aire.



Figura 57: Llenado de la fiola con 500gr de agregado fino

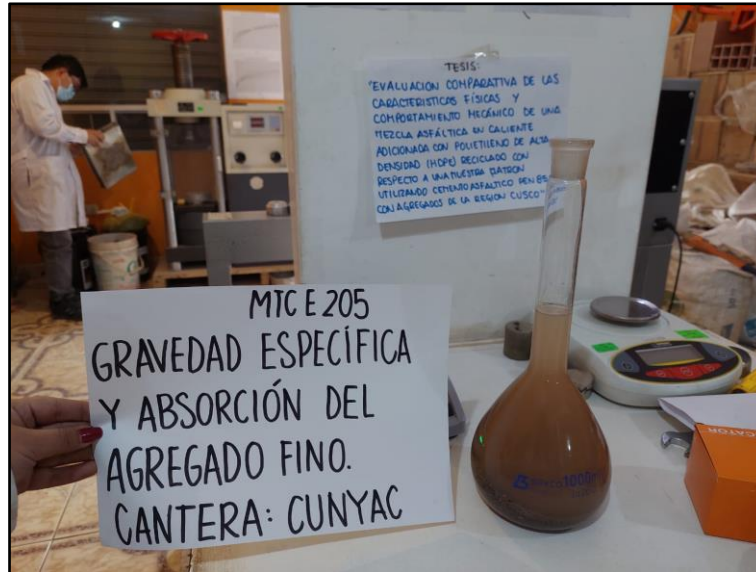


Figura 58: Fiola con muestra de agregado fino

3. Después de extraer las burbujas de aire se tomó el peso total del frasco, muestra y agua.

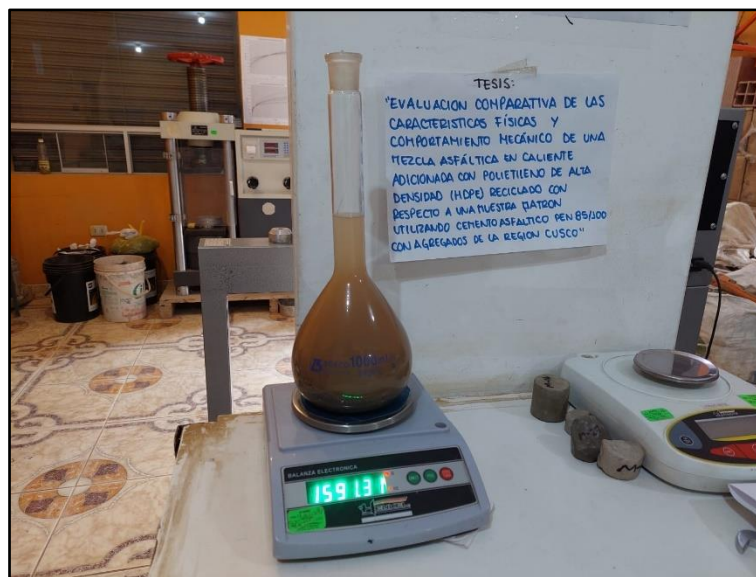


Figura 59: Peso de la fiola con muestra de agregado fino

4. Remover el agregado fino del frasco, se secó en una estufa hasta obtener un peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, se enfrió el material a temperatura ambiente para tomar el peso final del material.



Figura 60: Vaciado de fiola.

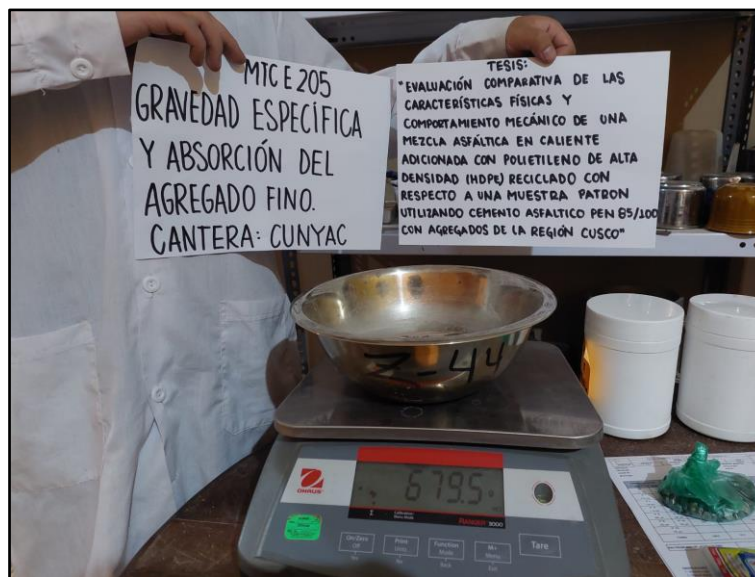


Figura 61: Peso de Agregado fino Seco

5. Todo el mismo procedimiento se realizó 3 veces para la arena triturada de Morro Blanco y 3 veces para la arena natural de Cunyac.



d) Toma de dato

Tabla 72: Recolección de datos del ensayo gravedad específica y absorción de agregados finos – Arena natural de Cunyac

PESOS	DESCRIPCION	UNIDAD	1	2	3
A	Peso de la muestra seca	gr	490.890	490.650	491.100
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr	1291.780	1291.730	1291.800
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr	1591.310	1589.890	1590.250
D	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	500.000	500.000	500.000

Fuente: Propia

Tabla 73: Recolección de datos del ensayo gravedad específica y absorción de agregados finos – Arena triturada de Morro Blanco

PESOS	DESCRIPCION	UNIDAD	1	2	3
A	Peso de la muestra seca	gr	490.37	491.10	490.85
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr	1291.70	1291.75	1291.73
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	gr	1598.25	1596.75	1597.66
D	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	500.00	500.00	500.00

Fuente Propia

### 3.5.1.9 Determinación del Limite Líquido de los suelos (MTC E 110)

a) Materiales y equipos:

- Mortero
- Cuchara de Casagrande y acanalador
- Calibrador (incorporado con el acanalador)
- Taras
- Balanza
- Estufa



- Agua destilada
- Tamiz N° 40



Figura 62: Materiales y equipos usados para la determinación del límite líquido de la arena

b) Preparación de la muestra:

1. Se toma como muestra representativa al material pasante del tamiz N°40, considerando como mínimo 300 gr de muestra total seca.



Figura 63: Tamizado del material por la malla N°40



c) Procedimiento:

1. Se realizó la calibración de la cuchara de Casagrande



Figura 64: Calibración de la cuchara de Casagrande

2. Colocamos la muestra en un recipiente de porcelana y le agregamos agua, mezclamos con ayuda de la espátula hasta obtener una porción representativa.



Figura 65: Mezclado de la muestra con agua

3. Teniendo nuestro suelo preparado lo colocamos en la cuchara de Casagrande, esparciéndola hasta 10mm aproximadamente en el punto más profundo sin dejar burbujas de aire atrapadas.





Figura 66: Muestra colocada en la cuchara de Casagrande

4. Realizamos una ranura en nuestra muestra con ayuda del acanalador.



Figura 67: Acanalado de material sobre la cuchara de Casagrande

5. Se levantó y soltó la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, esto se realiza hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de ranura una longitud de 13 mm
- Observación: Este paso no se logró concretar debido a que los materiales finos usados (Arena natural de Cunyac y Arena triturada de Morro Blanco) tienen naturaleza arenosa, por lo cual no se obtuvieron datos de este ensayo



d) Toma de datos:

Tabla 74: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite líquido – Arena triturada de Morro Blanco

DESCRIPCION	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
N golpes	7	5	6
Peso del recipiente	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo Húmedo	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo Seco	NP	NP	NP

Fuente: Propia.

Tabla 75: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite líquido – Arena natural de Cunyac

DESCRIPCION	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3
N golpes	5	4	7
Peso del recipiente	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo Húmedo	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo Seco	NP	NP	NP

Fuente: Propia.

### 3.5.1.10 Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad

a) Materiales y equipos

- Espátula
- Bowl
- Tamiz N°40
- Vidrio esmerilado
- Agua destilada
- Taras de humedad
- Balanza
- Horno



Figura 68: Materiales y equipos usados para la determinación del límite plástico e índice de plasticidad

b) Preparación de la muestra:

Se tomó como muestra representativa al material pasante del tamiz N°40, considerando como mínimo 100 gr y se le añadió agua destilada hasta conseguir una masa moldeable.

c) Procedimiento:

1. Moldeamos elipsoides con la masa obtenida y con ayuda de los dedos formamos cilindros alargados en el vidrio esmerilado
2. Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a moldear un elipsoide hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.



Figura 69: Formación de cilindros alargados



- No se logró concretar el ensayo debido a que nuestro material usado (Arena triturada de Morro Blando y Arena natural de Cunyac) tiene naturaleza arenosa por lo cual no se obtuvieron datos.

d) Toma de datos:

Tabla 76: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite plástico – Arena triturada de Morro Blanco

<b>LÍMITE PLASTICO ARENA TRITURADA DE MORRO BLANCO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
Peso del recipiente	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo húmedo	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo Seco	NP	NP	NP

Fuente: Propia.

Tabla 77: Datos recolectados del ensayo de determinación del límite plástico – Arena natural de Cunyac

<b>LÍMITE PLASTICO ARENA NATURAL DE CUNYAC</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>ENSAYO 1</b>	<b>ENSAYO 2</b>	<b>ENSAYO 3</b>
Peso del recipiente	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo húmedo	NP	NP	NP
Recipiente + Suelo Seco	NP	NP	NP

Fuente: Propia.

### 3.5.1.11 Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de Agregado Fino (MTC E 209)

- a) Materiales y equipos
- Tamices
  - Envases
  - Baño maría
  - Balanza de precisión
  - Horno de secado
  - Solución de sulfato de Magnesio



Tamices



Envases



Baño maría



Horno



Balanza



Sulfato de Magnesio

Figura 70: Materiales y equipos usados en la durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino

b) Preparación de la muestra:

Solución de sulfato de magnesio: Se preparó una solución utilizando sulfato de magnesio de forma anhidra ( $MgSO_4$ ), por lo cual se disolvió 350gr en un litro de agua con temperatura entre  $25^\circ$  a  $30^\circ$ . Se dejó reposar por 48 horas a  $21 \pm 1^\circ C$  antes de su empleo.

Agregado fino: El agregado fino se pasó por un tamiz normalizado 9,50 mm ( $3/8''$ ). La muestra será de un peso tal, que una vez tamizada queden por lo menos 100 g de material en cada uno de los tamices. Se consideran solamente las fracciones que están contenidas en 5% o más de los tamices indicados:

Tabla 78: Tamices normados usados para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600 $\mu$ m (Nº 30)	300 $\mu$ m (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600 $\mu$ m (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm ( $3/8''$ )	4,75 mm (Nº 4)

Fuente: (Manual de ensayo de materiales, 2016)

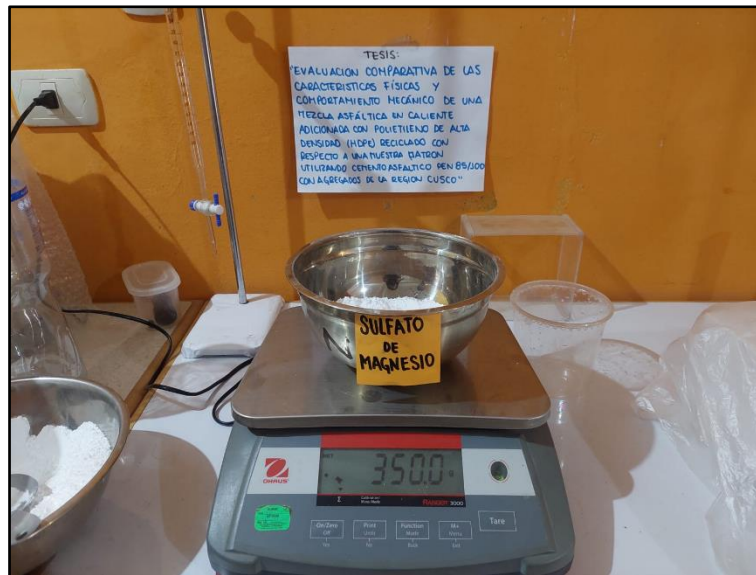


Figura 71: Sulfato de magnesio en forma anhidra



Figura 72: Preparación de la solución de sulfato de magnesio

c) Procedimiento:

1. Teniendo nuestras muestras ya separadas según la tabla, la colocamos en recipientes y se llenó con la solución de sulfato de magnesio cubriendo 2cm por encima del nivel de la muestra y lo dejamos en baño maría de 16 a 18 horas a una temperatura constante de 25°C



Figura 73: Arena triturada de Morro Blanco separada por tamices para realizar el ensayo

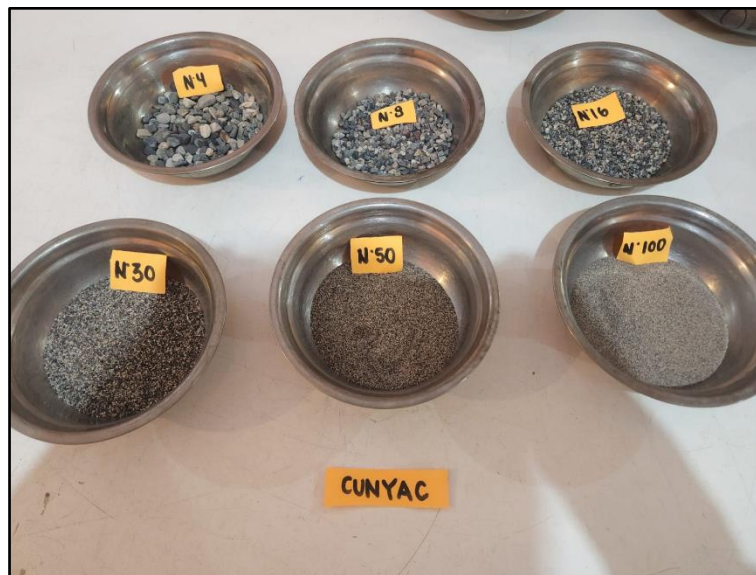


Figura 74: Arena natural de Cunyaq separada por tamices para realizar el ensayo



Figura 75: Agregados finos sumergidos en la solución de sulfato de magnesio

2. Pasando las horas indicadas se extrajo la muestra para decantar el sulfato de magnesio, enjuagamos la muestra y lo colocamos en el horno a una temperatura entre  $105^{\circ}\text{C}$  y  $110^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de 12 horas.



Figura 76: Muestras extraídas del horno

3. Luego volvimos a colocar las muestras con el sulfato de magnesio anteriormente decantado en el baño maría.





Figura 77: Sumersión de las muestras en el sulfato de magnesio

4. Este proceso se realizó durante 5 ciclos, al terminar se procedió a tomar el ultimo peso del agregado después del horno.



Figura 78: Muestras del ensayo de durabilidad en el horno



d) Toma de datos:

Tabla 79: Datos recolectados del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio – Arena triturada de Morro Blanco

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL
ASTM	(gr)	(gr)	(gr)
3/8"-N°4	100.000	100.082	89.599
N°4-N°8	100.000	100.015	89.015
N°8-N°16	100.000	100.046	87.637
N°16-N°30	100.000	100.089	91.63
N°30-N°50	100.000	100.079	89.435
N°50-N°100	100.000	100.073	89.523

Fuente: Propia.

Tabla 80: Datos recolectados del ensayo de durabilidad al sulfato de Magnesio – Arena natural de Cunyac

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL
ASTM	(gr)	(gr)	(gr)
3/8"-N°4	100.000	100.002	93.759
N°4-N°8	100.000	100.038	94.003
N°8-N°16	100.000	100.029	96.965
N°16-N°30	100.000	100.087	93.143
N°30-N°50	100.000	100.560	98.013
N°50-N°100	100.000	100.580	98.280

Fuente: Propia.



### 3.5.1.12 Método de Ensayo Estándar para el valor de Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino (MTC E 114)

#### a) Materiales y equipos

- Una probeta transparente, cilíndrica, con un diámetro interior de 32mm y unos 430mm de altura, graduada hasta 380mm de 2 en 2 mm, provista de un tampón de goma que ajuste en la boca de la probeta.
- Un tubo irrigador de latón o cobre o de acero inoxidable de unos 6mm de diámetro exterior, cerrado por su extremo inferior por aplastamiento en forma de cuña.
- Tubo flexible (de plástico o GNR) de 4.7 mm (3/16") de diámetro y de 1.20 m de largo, aproximadamente, con una pinza que permita cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el sifón con el tubo irrigador.
- Un botellón de 3.785 l (1 galón) de capacidad, destinado a contener la solución de cloruro de calcio; el tapón de este frasco lleva dos orificios, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El frasco debe colocarse a 90 centímetros de altura sobre la mesa de trabajo.
- Dispositivo para tomar lecturas. Un conjunto formado por un disco de asentamiento, una barra metálica y una sobrecarga cilíndrica. Este dispositivo está destinado a la toma de lecturas del nivel de arena y tendrá un peso total de 1 kg. La barra metálica tiene 457 mm (18") de longitud; en su extremo inferior lleva enroscado un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra; la cara superior de este disco de asentamiento es de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo en el interior del cilindro.
- Recipiente metálico, de diámetro 57 mm (2¼") aproximadamente, con una capacidad de  $85 \pm 5$  ml.
- Embudo, de boca ancha, de 101.6 mm (4") de diámetro.
- Reloj o cronómetro, para lecturas de minutos y segundos.
- Tamiz #4
- Solución Tipo de cloruro de calcio (Ca Cl<sub>2</sub>)



Cronometro



Probetas Cilindricas



Cloruro de calcio



Botellon



Tamiz



Embudo



Bandeja

Figura 79: Equipos y materiales – Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.

a) Preparación de la muestra

Se muestreo el material para ser ensayado se tiene que obtener como mínimo 1500 gr de material pasante la malla N°4 este material tiene que estar libre de terrones de agregado.

La solución de cloruro de calcio, se preparó con:

- Cloruro de calcio anhidro.
- Glicerina pura.
- Formaldehido en solución al 40% en volumen.

b) Procedimiento

1. Se mezclo el material en una bandeja con un cucharon hasta que toda la muestra sea uniforme para tener un buen desempeño en el ensayo.



Figura 80: Mezclado de Material

2. Se tiene que verificar que el material tenga la condición de humedad, para esto apretaremos una pequeña porción de la mezcla con la mano, si se forma un molde que permita manipularse sin destruirse entonces se tendrá el material con la humedad necesaria. En caso el material no cumpla con la humedad se añadirá más agua hasta obtener el resultado correcto para continuar con el ensayo.
3. Se lleno los envases para el ensayo con el material en condición húmeda correcta y después se nivelo el material con el nivel superior de los envases para así desechar el exceso de material.



Figura 81: Eliminación del material excedente de la parte superior del envase



Figura 82: Envases con agregado fino

4. Después se llenó los cilindros de prueba con el cloruro cálcico a una altura de  $4 \pm 0,1$  pulg. el cilindro indica el punto de llenado.



Figura 83: Llenado de cloruro cálcico en el cilindro

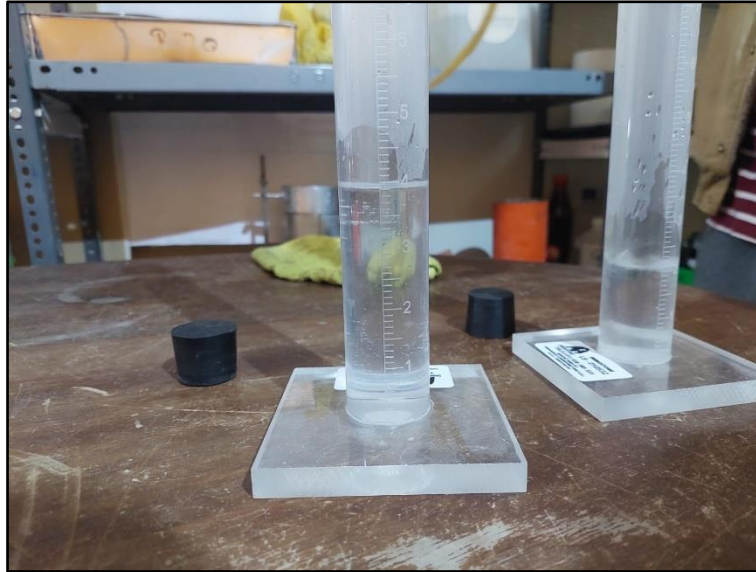


Figura 84: Cilindro de plástico con Cloruro cálcico

5. Se colocó las 3 muestras de los envases en 1 cilindro cada uno respectivamente usando un embudo para evitar pérdida de material.



Figura 85: Colocación de material en los cilindros plásticos

6. Se golpeó con la palma de la mano la parte de fondo del cilindro de plástico para que las burbujas de aire salgan esto se realiza varias veces además que esto servirá para que todas las partículas de la muestra se humedezcan, el cilindro de plástico debe permanecer en reposo por 10 minutos.



Figura 86: Cilindros plásticos reposando durante 10 min

7. Pasado los 10 minutos se sostuvo el cilindro horizontalmente y se agito el cilindro en ciclos de 90 en un tiempo de 30 segundos con un recorrido de  $23 \pm 3\text{cm}$  ( $9 \pm 1\text{pulg}$ ). cada ciclo se cuenta como ida y vuelta la velocidad para cumplir los 90 ciclos en el tiempo es importante.
8. Se coloco el tubo irrigador dentro del cilindro para el enjuague del material después de ser agitado, el tubo irrigador tendrá que ser usado desde el fondo del cilindro girándolo para poder hacer la función de punzonamiento para que el material se acomode y poner limpiar las zonas laterales del cilindro de plástico, luego se retira el tubo irrigador sin derramar material ni contenido de cloruro cálcico.
9. Dejamos pasar 20 minutos como periodo de sedimentación el material para poder leer y registrar de la parte superior la suspensión de la arcilla, como lectura de arcilla.



Figura 87: Cilindros listos para la lectura de arcilla





10. Pasado la lectura de la arcilla se coloca el pisón sobre el cilindro con mucho cuidado este ya debe estar con una medida referencial y se le resta 25.4 cm del nivel indicado por el borde superior esto es para la lectura de arena.



Figura 88: Uso de pisón para la lectura arena.

11. El procedimiento se realizó 3 veces para cada muestra arena triturada de Morro Blanco y arena natural de Cunyac en intervalos de 3 minutos por cilindro plástico.

d) Toma de datos

Tabla 81: Recolección de datos del ensayo equivalente de arena – Arena triturada de Morro Blanco

MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Altura de pisón	10	10	10
Altura de arcilla	5.95	6.05	5.9
Altura de arena	3.28	3.30	3.30

Fuente: Propia

Tabla 82: Recolección de datos del ensayo equivalente de arena – Arena natural de Cunyac

MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Altura de pisón	10	10	10
Altura de arcilla	4.55	4.6	4.6
Altura de arena	3.60	3.60	3.70

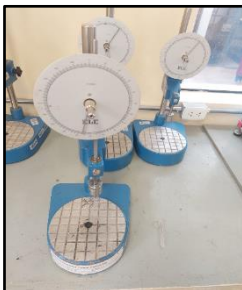
Fuente: Propia

### 3.5.2 Análisis del Cemento Asfáltico

#### 3.5.2.1 Penetración de los Materiales Bituminosos (MTC E 304)

##### a) Materiales y equipos:

- Aparato de penetración
- Aguja de penetración
- Baño maría
- Taras
- Termómetro



Aparato de penetración



Aguja de penetración



Baño maría



Tara



Termómetro

Figura 89: Materiales y equipos usados en la penetración de los materiales bituminosos

##### b) Preparación de la muestra:

1. El cemento asfáltico se obtuvo de la Planta de Asfalto de COPESCO



2. Separamos 500 gr de material en un recipiente y se calentó asegurándonos de no pasar los 60°C y agitando el material para evitar sobrecalentamientos.



Figura 90: Separación de cemento asfáltico PEN 85/100 a ensayar



Figura 91: Cemento asfáltico PEN 85/100 en baño maría

3. Retiramos la muestra de asfalto y lo colocamos en Baño María a 25°C con el fin de obtener una temperatura constante



Figura 92: Toma de temperatura del cemento asfáltico PEN 85/100

c) Procedimiento:

1. Colocamos la muestra bajo la aguja de 200 gramos, dejamos la caer la aguja controlando 5 segundos con ayuda de un cronometro tomando lectura de la penetración en el dial.



Figura 93: Ensayo de penetración del cemento asfáltico PEN 85/100

2. Realizamos este procedimiento para 3 muestras para poder tener un resultado más confiable

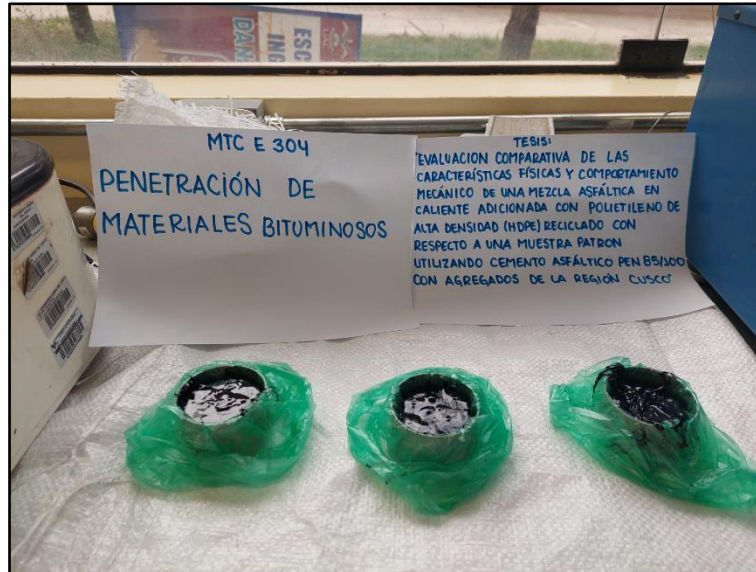


Figura 94: Muestras del ensayo de penetración de materiales bituminosos

d) Toma de datos:

Tabla 83: Datos recolectados del ensayo de penetración de materiales bituminosos

MUESTRA 1	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
PENETRACION	98	99	100
MUESTRA 2	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
PENETRACION	97.50	99.00	100.00
MUESTRA 3	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
PENETRACION	92.5	96	96

Fuente: Propia.



### 3.5.3 Ensayo de combinación de Agregados

#### 3.5.3.1 Análisis granulométrico de combinación de agregados

##### a) Materiales y equipos

- Tamizador mecánico
- Tamices normalizados (Gradación MAC 2)
- Balanza de precisión
- Brocha



Tamizador Mecánico



Brocha



Escobilla



Tamices



Balanza

Figura 95: Figura N Equipos y materiales – Análisis granulométrico de combinación de agregados

##### b) Preparación de la muestra

1. Para la muestra se utilizó combinaciones de agregado grueso (Piedra Chancada de Morro blanco), agregado fino (Arena triturada de Morro Blanco) y agregado fino (Arena natural de Cunyac).
2. Para a combinación se utilizó porcentajes de diferentes porcentajes teniendo en cuenta las granulometrias anteriores para hacer cumplir con los límites de la MAC 2 en la curva granulométrica.



- c) Prodecimiento
1. Se utilizo tamices los cuales tienen un limite tanto superior e inferior ya definido en en la gradacion MAC 2 .
  2. Se utilizo un programa Excel para determinar los porcentajes optimos para cumplir con los limites de la gradacion MAC 2.
- d) Toma de datos

Tabla 84: Recolección de datos del ensayo combinación de agregados

TAMIZ MALLA N°	ABERTURA M.M	% RET. GRUESO MB	% RET.FINO MB	% RET.CUNYAC	PESO (FILER)	ESPECIFICACION	
						GRADACION - MAC 2	
						Lim. Infer.	Lim. Super.
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00		
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
1/2"	12.700	39.68	0.00	0.00	0.00	80	100
3/8"	9.525	27.15	0.00	0.00	0.00	70	88
N°4	4.760	33.17	12.80	5.87	0.00	51	68
N° 10	2.000	0.00	42.94	13.14	0.00	38	52
N° 40	0.420	0.00	26.46	53.27	0.00	17	28
N° 80	0.180	0.00	10.19	20.91	0.00	8	17
N° 200	0.075	0.00	7.29	5.28	0.00	4	8
< # 200		0.00	0.32	1.53	4.00		
<b>Suma Total</b>		<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>4.0</b>		

Fuente: Propia

### 3.5.4 Diseño de mezclas asfálticas por Método Marshall

#### 3.5.4.1 Diseño de Mezclas asfálticas convencionales usando método Marshall (MTC E 504)

- a) Materiales y equipos
- Moldes de Compactación Marshall
  - Compactador automático Marshall (martillo compactador)
  - Balanza de precisión
  - Termómetro
  - Cocina a gas
  - Eyector de muestras
  - Bowl
  - Juego de tamices



- Guantes de cuero
- Bandejas metálicas
- Papel filtro
- Espátula
- Horno eléctrico



Disco y Varilla de Eyección



Cucharon



Compactador



Eyector de Muestras



Balanza



Moldes Marshall



Maquina Marshall



Horno



Termometro



Tamices



Cocina a Gas





Guante de Cuero



Papel Filtro



Espatula

Figura 96: Equipos y materiales – Diseño de Mezclas asfálticas convencionales usando método Marshall

b) Preparación de la muestra

1. Primero se secó el agregado fino y grueso para después tamizar todo el material separando cada material por tu procedencia.



Figura 97: Agregado de cantera de Morro Blanco

2. Se separo el material por tamiz para después de este pesar el de acuerdo al porcentaje de mezcla asfáltica tenemos que pesar una muestra considerando su procedencia del agregado (Piedra chanca de Morro Blanco, Arena triturada de Morro Blanco y Arena natural de Cunyac), el peso del material por tamiz se halló con la ayuda del software Microsoft Excel.
3. La elaboración de los especímenes tiene un peso de 1200 gramos como indica la norma, así que el peso de cada tamiz ira en función el porcentaje de combinación de agregados y en función al peso total del espécimen.



4. El porcentaje de cemento asfáltico y filler también irán en función al peso total del espécimen.



Figura 98: Tamizado de Agregados



Figura 99: Separación de Agregados por tamiz



Figura 100: Pesaje de los agregados por tamiz de acuerdo al diseño

c) Procedimiento

1. Teniendo ya el material pesado y separado en bolsa para cada porcentaje de las muestras convencionales.
2. Se calentará los agregados en el horno a una temperatura de  $140^{\circ}\text{C}$  –  $160^{\circ}\text{C}$ , así como también el filler y los moldes Marshall (temperatura de  $140^{\circ}\text{C}$ ), el cemento asfáltico se calentará en cocina a una temperatura que varíe de  $120^{\circ}\text{C}$  –  $140^{\circ}\text{C}$ .



Figura 101: Moldes y agregados en horno



Figura 102: Asfalto en cocina en temperatura de 120°C – 140°C

3. Después de tener el agregado a la temperatura requerida se procedió a adicionar el cemento asfáltico con ayuda de una balanza para pesar con exactitud.



Figura 103: Pesaje del cemento asfáltico según el diseño.

4. Se mezcló el cemento asfáltico con los agregados hasta que el agregado estuviera bien cubierto en su totalidad (todos los agregados tienen que tener el color del C.A.), a continuación, se agregó el filler todo teniendo que estar a una temperatura que este entre 120°C – 140°C.



Figura 104: Adición del filler a la mezcla

5. Procediendo con el ensayo se vertió la mezcla en el molde Marshall antes se puso el papel filtro en la base y después de que toda la mezcla este en el molde se chuseo con una varilla alrededor del molde 15 veces y al centro 15 veces esto para que la mezcla se expanda en todo el molde y se elimine algunos vacíos.



Figura 105: Molde Marshall con papel filtro



Figura 106: Vertido de la mezcla al molde Marshall

6. Continuando se colocó un papel filtro en la parte superior del superior del molde y se colocó en el martillo automático programando este para que según el diseño se aplique 75 golpes.
7. Finalizado se retira el collarín y la base para cambiar de posición el molde invirtiendo la cara para que el martillo automático compacte con el mismo número de golpes.



Figura 107: Colocando el Molde en el martillo automático

8. Finalizado el compactado se retira el papel filtro de ambos lados del molde y se deja a temperatura ambiente para hasta que el espécimen se enfríe para extraer el espécimen del molde con el eyector.



Figura 108: Molde con papel filtro y dejando enfriar.

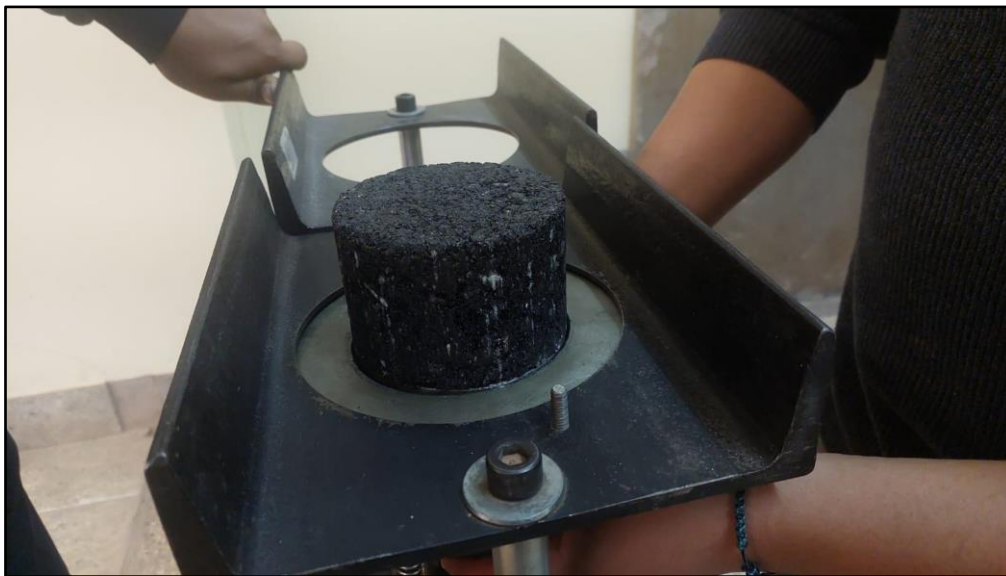


Figura 109: Eyección del espécimen

9. Posterior a su eyección cada muestra se marcó.



Figura 110: Muestras asfálticas con porcentajes 4% - 6.5%



Figura 111: Muestras asfálticas convencionales.

### 3.5.4.2 Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E 514)

- a) Materiales y Equipos
- Balanza
  - Canastilla de flotación





- Vernier
- Regla metálica
- Franela
- Baño María
- Termómetros



Baño María



Canastilla de flotacion



Franela



Balanza



Termometro

Figura 112: Equipos y materiales – Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas

b) Preparacion de la muestra

Se uso las muestras asfálticas convenciones con porcentajes del 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% previamente ya hechas.

c) Procedimiento

1. Primero se peso cada muestra en un estado seco.



Figura 113: Peso seco de los especímenes convencionales

2. Sumergimos cada especimen un Baño María a un temperatura de 25°C por un tiempo de 4 a 5 minutos.



Figura 114: Muestras sumergidas en Baño María a 25°C

3. Pasado el tiempo de sumergido el especimen se saca del baño maria se seco rapidamente la muestra superfialmente para obtener ese peso.



Figura 115: Peso Superficialmente seca de la muestra.

4. Pesada la muestra se colocó en la canastilla de flotación para obtener su peso en el aire.



Figura 116: Peso del espécimen en la canastilla de flotación



d) Toma de datos:

Tabla 85: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 4 % de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 4.00%	1194.80	1202.80	609.50
2 - 4.00%	1193.80	1206.00	613.80
3 - 4.00%	1193.10	1204.50	618.60
4 - 4.00%	1194.20	1201.00	617.80
5 - 4.00%	1194.20	1204.60	620.80

Fuente: Propia

Tabla 86: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 4.5 % de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 4.50%	1192.00	1195.10	621.00
2 - 4.50%	1198.40	1202.60	624.00
3 - 4.50%	1194.10	1199.60	624.90
4 - 4.50%	1196.70	1200.30	624.50
5 - 4.50%	1198.30	1202.80	622.30

Fuente: Propia

Tabla 87: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5 % de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.00%	1198.30	1200.00	628.30
2 - 5.00%	1199.70	1201.10	632.60
3 - 5.00%	1196.80	1200.60	625.80
4 - 5.00%	1200.90	1203.10	628.80
5 - 5.00%	1196.90	1200.20	627.10

Fuente: Propia



Tabla 88: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.50%	1191.30	1194.70	636.50
2 - 5.50%	1196.50	1198.70	639.40
3 - 5.50%	1190.20	1192.60	632.00
4 - 5.50%	1200.10	1202.70	643.90
5 - 5.50%	1205.40	1207.50	644.00

Fuente: Propia

Tabla 89: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6 % de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.00%	1190.60	1192.40	641.10
2 - 6.00%	1201.50	1202.50	649.10
3 - 6.00%	1182.90	1184.10	641.80
4 - 6.00%	1194.20	1196.00	640.60
5 - 6.00%	1186.10	1187.30	638.80

Fuente: Propia

Tabla 90: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.50%	1185.10	1189.40	622.00
2 - 6.50%	1184.60	1185.40	641.00
3 - 6.50%	1190.30	1191.90	637.70
4 - 6.50%	1188.80	1189.20	644.60
5 - 6.50%	1195.70	1196.30	647.20

Fuente: Propia

### 3.5.4.3 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall (MTC E 504)

#### a) Equipos y materiales

- Equipo de compresión Marshall (Aparato Marshall)
- Franela
- Cabezal de rotura para aparato Marshall
- Termómetro
- Franela
- Vernier o regla metálica



Vernier



Baño María



Franela



Aparato Marshall



Termómetro



Cabezal de rotura

Figura N

Figura 117: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall

#### b) Preparación de la muestra

Se usó las muestras asfálticas convencionales con porcentajes del 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% previamente ya obtenidas.



Figura 118: Especímenes Marshall convencionales

c) Procedimiento

1. Se tomo las medidas a cada especimen te tomo 4 medidas de altura y 4 medidas de diametro.



Figura 119: Toma de datos de altura y diámetro de las muestras

2. El Baño Maria se calento a un temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , teniendo la temperatura correcta se colocaron las muestras teniendo en cuenta que la altura del agua este por encima de los 25mm como minimo de las muestras, el tiempo de cada muestra sumergida es de 30 a 40 minutos a temperatura constante, la temperatura del cabezal del rotura tiene que estar a un temperatura que va desde los  $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ .

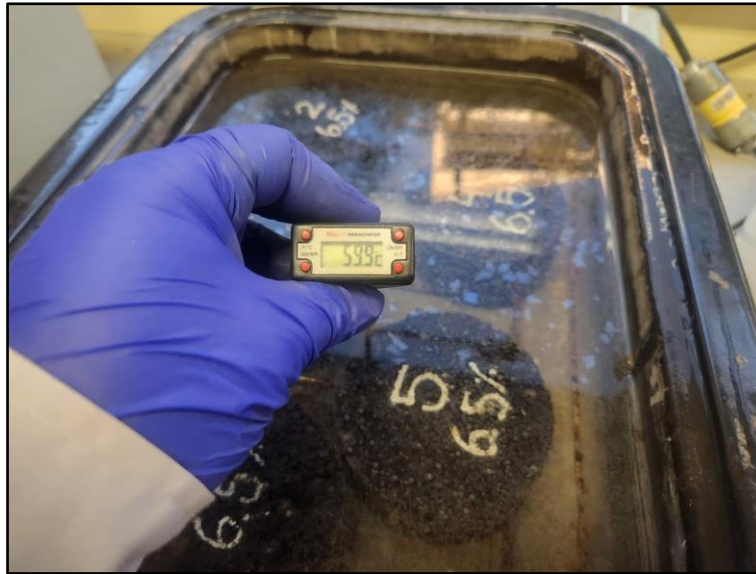


Figura 120: Temperatura de especímenes Marshall en Baño María



Figura 121: Temperatura del cabezal de rotura

3. Pasado los 30 minutos de la muestra se retiro la muestra del agua, se seco el exceso de agua con una franela y se coloco en el cabezal de rotura para la prueba, no debe exceder 30 segundos despues de retirada del agua hasta comenzar con el ensayo de compresion Marshall



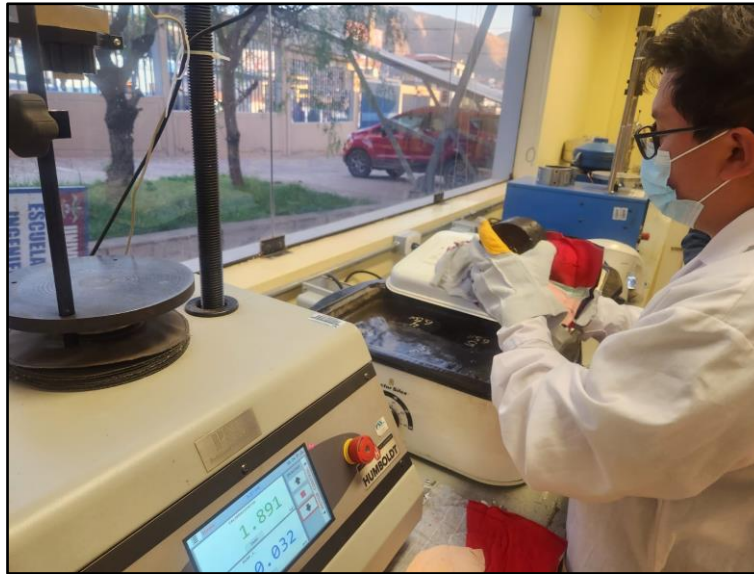


Figura 122: Espécimen Marshall retirada de Baño María



Figura 123: Espécimen Marshall puesta en el cabezal de rotura.

4. Se inicio el ensayo con el aparato Marshall colocando el cabezal de rotura alineado y centrado asi como el medidor de flujo.



Figura 124: Alineamiento del cabezal de rotura, así como medidor de flujo

5. Una vez el ensayo comenzado se toman los datos de estabilidad y lectura de flujo.



Figura 125: Datos de estabilidad y flujo.

6. El mismo procedimiento se realizan con todas las muestra en este caso las muestras asfálticas convencionales.



Figura 126: Rotura de especímenes con aparato Marshall



Figura 127: Ensayo de Estabilidad y Flujo.



d) Toma de datos

Tabla 91: Tabla N Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (4%)	6.55	6.60	6.50	6.50	6.54
MUESTRA 2 (4%)	6.65	6.80	6.80	6.70	6.74
MUESTRA 3 (4%)	6.60	6.55	6.55	6.60	6.58
MUESTRA 4 (4%)	6.55	6.50	6.55	6.50	6.53
MUESTRA 5 (4%)	6.60	6.60	6.60	6.55	6.59

Fuente: Propia

Tabla 92: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (4.5%)	6.55	6.50	6.50	6.55	6.53
MUESTRA 2 (4.5%)	6.45	6.40	6.45	6.45	6.44
MUESTRA 3 (4.5%)	6.40	6.40	6.45	6.50	6.44
MUESTRA 4 (4.5%)	6.45	6.45	6.50	6.45	6.46
MUESTRA 5 (4.5%)	6.60	6.55	6.40	6.45	6.50

Fuente: Propia

Tabla 93: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5%)	6.40	6.45	6.50	6.50	6.46
MUESTRA 2 (5%)	6.45	6.40	6.40	6.45	6.43
MUESTRA 3 (5%)	6.50	6.50	6.55	6.55	6.53
MUESTRA 4 (5%)	6.45	6.50	6.45	6.45	6.46
MUESTRA 5 (5%)	6.45	6.35	6.45	6.45	6.43

Fuente: Propia



Tabla 94: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5%)	6.40	6.35	6.40	6.30	6.36
MUESTRA 2 (5.5%)	6.40	6.50	6.55	6.50	6.49
MUESTRA 3 (5.5%)	6.40	6.35	6.45	6.30	6.38
MUESTRA 4 (5.5%)	6.45	6.50	6.40	6.40	6.44
MUESTRA 5 (5.5%)	6.60	6.50	6.50	6.60	6.55

Fuente: Propia

Tabla 95: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6%)	6.50	6.50	6.40	6.50	6.48
MUESTRA 2 (6%)	6.45	6.50	6.50	6.45	6.48
MUESTRA 3 (6%)	6.40	6.45	6.40	6.35	6.40
MUESTRA 4 (6%)	6.40	6.35	6.20	6.20	6.29
MUESTRA 5 (6%)	6.35	6.40	6.40	6.55	6.43

Fuente: Propia

Tabla 96: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (cm)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5%)	6.65	6.75	6.65	6.70	6.69
MUESTRA 2 (6.5%)	6.30	6.40	6.35	6.30	6.34
MUESTRA 3 (6.5%)	6.50	6.50	6.50	6.40	6.48
MUESTRA 4 (6.5%)	6.40	6.35	6.30	6.30	6.34
MUESTRA 5 (6.5%)	6.30	6.25	6.20	6.20	6.24

Fuente: Propia



Tabla 97: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4% de cemento asfáltico

<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>FLUJO (MM)</b>
MUESTRA 1 (4%)	3.46
MUESTRA 2 (4%)	3.19
MUESTRA 3 (4%)	3.00
MUESTRA 4 (4%)	3.21
MUESTRA 5 (4%)	3.15

Fuente: Propia

Tabla 98: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4.5% de cemento asfáltico

<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>FLUJO (MM)</b>
MUESTRA 1 (4.5%)	3.10
MUESTRA 2 (4.5%)	3.20
MUESTRA 3 (4.5%)	3.46
MUESTRA 4 (4.5%)	3.30
MUESTRA 5 (4.5%)	3.40

Fuente: Propia

Tabla 99: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5% de cemento asfáltico

<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>FLUJO (MM)</b>
MUESTRA 1 (5%)	3.43
MUESTRA 2 (5%)	3.23
MUESTRA 3 (5%)	3.23
MUESTRA 4 (5%)	3.38
MUESTRA 5 (5%)	3.32

Fuente: Propia



Tabla 100: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5%)	3.44
MUESTRA 2 (5.5%)	3.26
MUESTRA 3 (5.5%)	3.49
MUESTRA 4 (5.5%)	3.40
MUESTRA 5 (5.5%)	3.39

Fuente: Propia

Tabla 101: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6%)	3.48
MUESTRA 2 (6%)	3.40
MUESTRA 3 (6%)	3.41
MUESTRA 4 (6%)	3.37
MUESTRA 5 (6%)	3.38

Fuente: Propia

Tabla 102: Recolección de datos de Flujo del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5%)	3.43
MUESTRA 2 (6.5%)	3.46
MUESTRA 3 (6.5%)	3.54
MUESTRA 4 (6.5%)	3.55
MUESTRA 5 (6.5%)	3.52

Fuente: Propia



Tabla 103: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (4%)	1326.88
MUESTRA 2 (4%)	1397.59
MUESTRA 3 (4%)	1328.58
MUESTRA 4 (4%)	1353.48
MUESTRA 5 (4%)	1385.81

Fuente: Propia

Tabla 104: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (4.5%)	1365.71
MUESTRA 2 (4.5%)	1302.57
MUESTRA 3 (4.5%)	1369.11
MUESTRA 4 (4.5%)	1286.58
MUESTRA 5 (4.5%)	1270.60

Fuente: Propia

Tabla 105: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5%)	1450.68
MUESTRA 2 (5%)	1303.09
MUESTRA 3 (5%)	1399.59
MUESTRA 4 (5%)	1291.92
MUESTRA 5 (5%)	1136.23

Fuente: Propia





Tabla 106: Tabla N Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5%)	1375.46
MUESTRA 2 (5.5%)	1251.54
MUESTRA 3 (5.5%)	1289.03
MUESTRA 4 (5.5%)	1096.90
MUESTRA 5 (5.5%)	1402.22

Fuente: Propia

Tabla 107: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6%)	1213.45
MUESTRA 2 (6%)	1284.30
MUESTRA 3 (6%)	1292.94
MUESTRA 4 (6%)	1228.65
MUESTRA 5 (6%)	1350.86

Fuente: Propia

Tabla 108: Recolección de datos de Estabilidad del ensayo Marshall de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5%)	1248.71
MUESTRA 2 (6.5%)	1231.36
MUESTRA 3 (6.5%)	1267.88
MUESTRA 4 (6.5%)	1197.15
MUESTRA 5 (6.5%)	1223.99

Fuente: Propia



### 3.5.4.4 Resistencia de mezclas asfálticas patrón compactadas al daño inducido por humedad (MTC E 522)

#### a) Materiales y equipos:

- Moldes Marshall
- Canastilla de flotación
- Eyector de muestras
- Balanza de flotación
- Vernier
- Baño María
- Equipo de compresión Marshall (martillo compactador)
- Horno eléctrico
- Congelador
- Cabezal de rotura diametral



Compactor



Moldes Marshall



Cabezal de Rotura Diametral



Vernier



Baño Maria



Canastilla



Eyector de Muestras



Balanza



Maquina Marshall



Horno



Termometro

Figura 128: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas asfálticas patrón compactadas al daño inducido por humedad

b) Preparacion de la muestra

La muestra sera preparada con el contenido optimo de asfalto de las muestras patron, se sacaron los pesos de cada tamiz asi como del filler y cemento asfaltico.

c) Prodecimiento

1. Para este ensayo se necesitaran 2 grupos para ser ensayados la primera en condicion seca y la segunda en condicion saturada (acondicionamiento humedo con ciclo de congelamiento), para este ensayo se usaron 6 muestras con el porcentaje optimo de asfalto y se separaran en 2 grupos de 3 muestras.
2. Despues de tener los pesos de cada tamiz y llegar al proceso de mezclado de los agregados con el cemento asfaltico, la mezcla es colocada en un bandeja de alumino de profundidad 25mm que fue puesta a temperatura ambiente por  $2 \pm 0.5$  horas, la bandeja con la muestra fue llevada al horno a  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de  $16 \pm 1$  horas para el proceso de curado.



Figura 129: Llenado del recipiente de aluminio con la mezcla asfáltica



3. Cada recipiente de aluminio fue llenada con 2 muestras separadas para evitar la perdida de material de alguna de las muestras.



Figura 130: Recipientes de aluminio con mezclas asfálticas

4. Pasado el tiempo de curado el recipiente de aluminio con las mezclas asfálticas, 3 mezclas asfálticas fueran puestas en el horno a un temperatura de compactacion ( $140 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) para despues poder retirar la mezcla del envase de aluminio y asi poder verterlas en el molde Marshall, poner la muestra en el martillo compactador, terminado el procesor de compactacion por ambos del molde de cada muestra, se dejara enfriar un tiempo suficiente para poder retirar la muestra con ayuda del eyector, despues de remover las muestras estas deben almacenarse a temperatura ambiente por  $24 \pm 3$  horas.



Figura 131: Recipientes con mezcla asfáltica en horno a  $140^{\circ}\text{C}$



Figura 132: Vertido de mezcla asfáltica en el molde Marshall



Figura 133: Colocado del molde en el martillo compactador



Figura 134: Eyección de muestras asfálticas



5. Después de  $24 \pm 3$  horas almacenadas las muestras se dividieron en 2 grupos para el ensayo.
  - Especímenes en condición seca:
6. Muestras serán ensayadas en esta condición las cuales fueron cubiertas con bolsa a prueba de goteo y después colocadas en baño maría a  $25 \pm 0.5$  °C por un tiempo de 2 horas  $\pm$  10 minutos teniendo la altura de agua como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen.



Figura 135: Muestras asfálticas en Baño María a 25°C

7. Pasado el tiempo se sacaron las muestras y las bolsas entonces se tomaron las medidas de cada espécimen (altura y diámetro), después se colocó la muestra en el cabezal de rotura diametral para ser ensayado con una carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min.
8. Se registró el esfuerzo a compresión máximo de cada espécimen, este debe mostrar una fisura vertical para poder inspeccionar después de retirar el cabezal la muestra internamente para poder observar si existen agregados fracturados, se estimó el daño por humedad visualmente en una escala de 0 a 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).

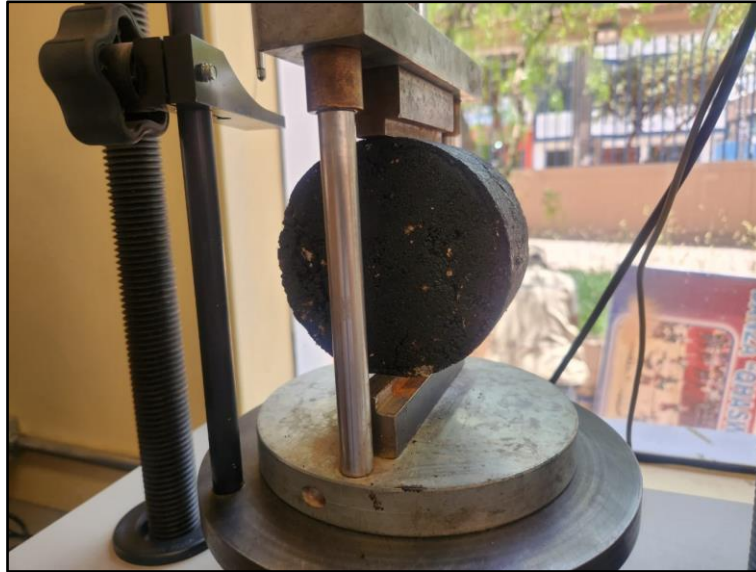


Figura 136: Muestra asfáltica en el cabezal de rotura diametral



Figura 137: Fisura vertical de la muestra asfáltica

9. Especímenes en condición de saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento:
10. Las 3 muestras restantes se sumergirán en agua potable teniendo la altura de agua como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen, el tiempo que debes estar sumergido cada espécimen es de 5 a 10 minutos.

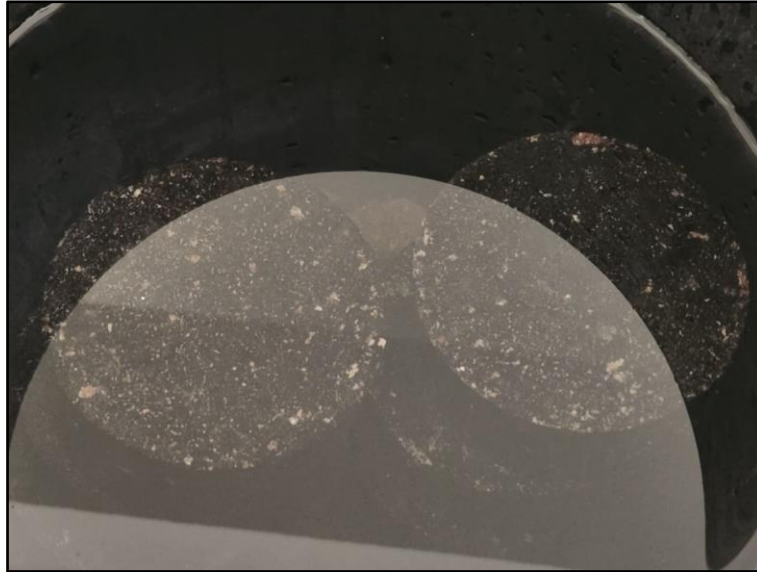


Figura 138: Muestras asfálticas sumergidas

11. Después del proceso de sumergido se colocara las muestras en un bolsa plastica que contenga  $10 \pm 0.5$  mil de agua y se cerro la bolsa, para colocarlos en la congeladora a una temperatura de  $-18 \pm 3$  °C por un mínimo de 16 horas.



Figura 139: Muestras asfálticas en bolsa plástica.





Figura 140: Muestras asfálticas en congeladora

12. Después de sacar las muestras de la congeladora se llevó a Baño María a  $60 \pm 1$  °C por un tiempo de  $24 \pm 1$  horas el agua debe cubrir la altura como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen.
13. Paso el tiempo la muestras se colocaran en Baño Maria a  $25 \pm 0.5$  °C por un tiempo de 2 horas  $\pm$  10 minutos, el agua debe cubrir la altura como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen.



Figura 141: Muestras asfálticas en Baño María a 25°C



14. Los especímenes se removieron de Baño María y también del plástico que cubría la muestra, procediendo a medir sus alturas y sus diámetros por muestra, después se colocó la muestra en el cabezal de rotura diametral para ser ensayado con una carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min.
15. Se registró el esfuerzo a compresión máximo de cada espécimen, este debe mostrar una fisura vertical para poder inspeccionar después de retirar el cabezal la muestra internamente para poder observar si existen agregados fracturados, se estimó el daño por humedad visualmente en una escala de 0 a 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).



Figura 142: Muestra asfáltica con cabezal de rotura diametral



Figura 143: Toma de datos de muestra asfáltica.



d) Toma de datos

Tabla 109: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto en condición seca

<b>CONDICION SECA</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Altura 1	6.20	6.30	6.50
Altura 2	6.30	6.30	6.50
Altura 3	6.30	6.20	6.50
Altura 4	6.30	6.20	6.50
Diámetro 1	10.00	10.20	10.10
Diámetro 2	10.00	10.20	10.00
Diámetro 3	10.10	10.20	10.10
Diámetro 4	10.00	10.20	10.00
<b>CARGA DE ROTURA (N)</b>	7486.50	8059.12	8130.67

Fuente: Propia

Tabla 110: Tabla N Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto en condición saturada

<b>CONDICION SATURADA</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Altura 1	6.10	6.30	6.40
Altura 2	6.20	6.30	6.40
Altura 3	6.20	6.30	6.40
Altura 4	6.20	6.20	6.40
Diámetro 1	10.20	10.00	10.00
Diámetro 2	10.30	10.10	10.00
Diámetro 3	10.20	10.10	10.00
Diámetro 4	10.30	10.00	10.10
<b>CARGA DE ROTURA (N)</b>	6787.27	6351.89	6744.11

Fuente: Propia



### 3.5.5 Preparación y Ensayos de Mezclas asfálticas en caliente adicionadas con HDPE

#### 3.5.5.1 Diseño de Mezclas asfálticas Adicionadas con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado usando método Marshall (MTC E 504)

##### a) Materiales y equipos

- Moldes de Compactación Marshall
- Compactador automático Marshall (martillo compactador)
- Balanza de precisión
- Termómetro
- Cocina a gas
- Eyector de muestras
- Bowl
- Juego de tamices
- Guantes de cuero
- Bandejas metálicas
- Papel filtro
- Espátula
- Horno eléctrico
- Polietileno de Alta Densidad Reciclado (HDPE)



Disco y Varilla de Eyección



Cucharon



Compactador



Eyector de Muestras



Balanza



Moldes Marshall



Maquina Marshall



Horno



Termometro



Tamices



Cocina a Gas



Guante de Cuero



Papel Filtro



Espatula

Figura 144: Equipos y materiales – Diseño de Mezclas asfálticas adicionadas con HDPE usando método Marshall

b) Preparación de la muestra

1. Primero se secó el agregado fino y grueso para después tamizar todo el material separando cada material por tu procedencia.



Figura 145: Agregado de cantera de Morro Blanco

2. Se separo el material por tamiz para después de este pesar el de acuerdo al porcentaje de mezcla asfáltica tenemos que pesar una muestra considerando su procedencia del agregado (Piedra chanca de Morro Blanco, Arena triturada de Morro Blanco y Arena natural de Cunyac), el peso del material por tamiz se halló con la ayuda del software Microsoft Excel.
3. La elaboración de los especímenes tiene un peso de 1200 gramos como indica la norma, así que el peso de cada tamiz ira en función el porcentaje de combinación de agregados y en función al peso total del espécimen.
4. El porcentaje de cemento asfáltico y filler también irán en función al peso total del espécimen.



Figura 146: Tamizado de Agregados



Figura 147: Separación de Agregados por tamiz



Figura 148: Pesaje de los agregados por tamiz de acuerdo al diseño

- El polietileno de alta densidad reciclado (HDPE) se consiguió en la ciudad de Juliaca – Puno de una planta recicladora y trituradora de plástico (Reciplast), el material fue tamizado por la malla N°4 para la fabricación de los especímenes y separado en bolsas plásticas con el peso para cada porcentaje que se le añadió al espécimen.



Figura 149: Polietileno de Alta Densidad (HDPE) reciclado

c) Procedimiento

1. Teniendo ya el material pesado y separado en bolsa para cada porcentaje de las muestras convencionales.
2. Se calentará los agregados en el horno a una temperatura de  $140^{\circ}\text{C}$  –  $160^{\circ}\text{C}$ , así como también el filler y los moldes Marshall (temperatura de  $140^{\circ}\text{C}$ ), el cemento asfáltico se calentará en cocina a una temperatura que varíe de  $120^{\circ}\text{C}$  –  $140^{\circ}\text{C}$ .



Figura 150: Moldes y agregados en horno





Figura 151: Asfalto en cocina en temperatura de 120°C – 140°C.

3. Después de tener el agregado a la temperatura requerida se procedió a adicionar el cemento asfáltico con ayuda de una balanza para pesar con exactitud.



Figura 152: Pesaje del cemento asfáltico según el diseño.

4. Se mezcló el cemento asfáltico con los agregados hasta que el agregado estuviera bien cubierto en su totalidad (todos los agregados tienen que tener el color del C.A.), a continuación, se agregó el filler todo teniendo que estar a una temperatura que este entre 120°C – 140°C.



Figura 153: Adición del filler a la mezcla.

5. Después de añadido el filler a la mezcla se adiciono el polietileno de alta densidad en peso de acuerdo al porcentaje de diseño de los especímenes se mezcló hasta que todo el material tenga homogeneidad y revisando que la temperatura de mezcla este en el rango correcto



Figura 154: Polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado



Figura 155: Adición del polietileno de alta densidad reciclado a la mezcla.

6. Procediendo con el ensayo se vertió la mezcla adicionada con HDPE en el molde Marshall antes se puso el papel filtro en la base y después de que toda la mezcla este en el molde se chuseo con una varilla alrededor del molde 15 veces y al centro 15 veces esto para que la mezcla se expanda en todo el molde y se elimine vacíos.



Figura 156: Molde Marshall con papel filtro



Figura 157: Mezcla dentro del molde y chuseo

7. Continuando se colocó un papel filtro en la parte superior del superior del molde y se colocó en el martillo automático programando este para que según el diseño se aplique 75 golpes.
8. Finalizado se retira el collarín y la base para cambiar de posición el molde invirtiendo la cara para que el martillo automático compacte con el mismo número de golpes.



Figura 158: Molde colocado en el martillo automático

9. Finalizado el compactado se retira el papel filtro de ambos lados del molde y se deja a temperatura ambiente para hasta que el espécimen se enfríe para extraer el espécimen del molde con el eyector.



Figura 159: Molde con papel filtro y espécimen enfriando.

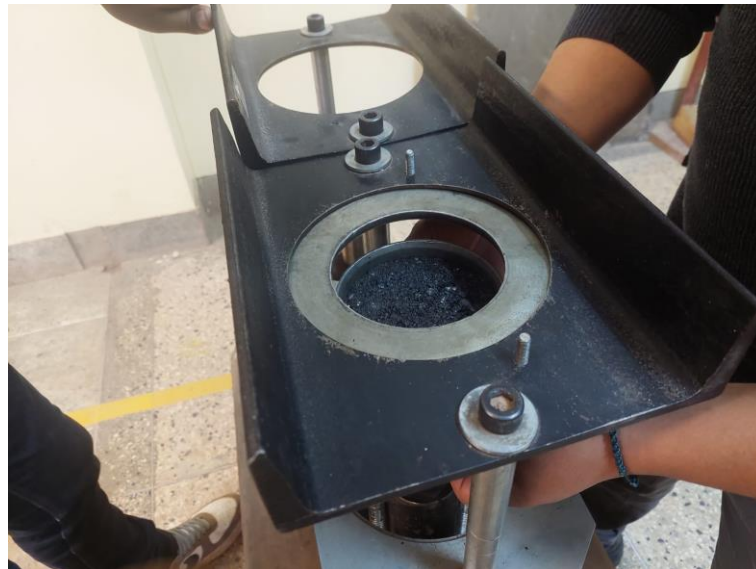


Figura 160: Eyección de muestras adicionales con HDPE

10. Posterior a su eyección cada muestra se marcó con su porcentaje de adición de HDPE y porcentaje de cemento asfáltico.



Figura 161: Muestras asfálticas adicionales con HDPE reciclado



Figura 162: Muestras asfálticas adicionales con HDPE.

### 3.5.5.2 Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas adicionales con HDPE compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E 514)

#### a) Materiales y Equipos

- Balanza
- Canastilla de flotación
- Vernier
- Regla metálica
- Franela



- Baño María
- Termómetros



Baño Maria



Canastilla de flotacion



Franela



Balanza



Termometro

Figura 163: Equipos y materiales – Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE compactadas

#### b) Preparacion de la muestra

Se uso las muestras asfálticas adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado con porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE esto en base a los porcentajes de 5.5%, 6%, 6.33% (porcentaje optimo), 6.5% y 7% previamente ya realizadas.

#### c) Procedimiento

1. Primero se peso cada muestra en un estado seco.



Figura 164: Muestras adicionales con HDPE - ensayo de peso específico

2. Sumergimos cada espécimen un Baño María a un temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C por un tiempo de 4 a 5 minutos.



Figura 165: Muestras adicionales con HDPE sumergidas en Baño María

3. Pasado el tiempo de sumergido el espécimen se sacó del baño maría se secó rápidamente la muestra superficialmente para obtener ese peso.





Figura 166: Peso Superficialmente seca de la muestra adicionada con HDPE.

4. Pesada la muestra se coloco en la canastilla de flotacion para obtener su peso en el aire.



Figura 167: Muestra asfáltica adicionada con HDPE en canastilla de flotación



d) Toma de datos:

1. Mezclas adicionadas con HDPE, con el contenido óptimo de asfalto de 6.33%.

Tabla 111: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.33% - 1%HDPE	1183.70	1184.30	626.10
2 - 6.33% - 1%HDPE	1192.80	1193.30	625.50
3 - 6.33% - 1%HDPE	1176.70	1177.10	626.80
4 - 6.33% - 1%HDPE	1180.60	1181.90	624.90
5 - 6.33% - 1%HDPE	1182.20	1182.90	627.30

Fuente: Propia

Tabla 112: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.33% - 2%HDPE	1187.70	1188.40	618.40
2 - 6.33% - 2%HDPE	1189.40	1189.70	619.60
3 - 6.33% - 2%HDPE	1178.70	1180.20	614.20
4 - 6.33% - 2%HDPE	1188.00	1188.90	618.20
5 - 6.33% - 2%HDPE	1186.50	1187.30	617.90

Fuente: Propia

Tabla 113: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.33% - 3%HDPE	1184.70	1185.50	614.00
2 - 6.33% - 3%HDPE	1190.80	1193.30	595.80
3 - 6.33% - 3%HDPE	1185.00	1186.10	608.00
4 - 6.33% - 3%HDPE	1186.30	1187.10	613.20
5 - 6.33% - 3%HDPE	1183.80	1184.90	610.50

Fuente: Propia



Tabla 114: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.33% - 4%HDPE	1187.30	1188.40	600.90
2 - 6.33% - 4%HDPE	1193.40	1195.00	605.00
3 - 6.33% - 4%HDPE	1185.00	1191.70	609.50
4 - 6.33% - 4%HDPE	1189.20	1190.90	608.10
5 - 6.33% - 4%HDPE	1190.30	1191.40	606.20

Fuente: Propia

Tabla 115: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.33% - 5%HDPE	1192.00	1200.70	577.20
2 - 6.33% - 5%HDPE	1191.30	1196.30	590.70
3 - 6.33% - 5%HDPE	1199.00	1204.50	595.90
4 - 6.33% - 5%HDPE	1190.60	1192.20	585.60
5 - 6.33% - 5%HDPE	1193.20	1194.10	579.40

Fuente: Propia

Tabla 116: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.33% - 6%HDPE	1193.80	1198.60	570.80
2 - 6.33% - 6%HDPE	1194.90	1201.00	572.70
3 - 6.33% - 6%HDPE	1185.90	1189.90	570.80
4 - 6.33% - 6%HDPE	1190.60	1191.90	571.60
5 - 6.33% - 6%HDPE	1192.40	1193.60	569.80

Fuente: Propia



2. Mezclas adicionadas con HDPE con 5.5% de asfalto

Tabla 117: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.5% - 1%HDPE	1185.90	1188.20	634.50
2 - 5.5% - 1%HDPE	1186.40	1189.30	633.90
3 - 5.5% - 1%HDPE	1185.70	1188.90	634.10
4 - 5.5% - 1%HDPE	1188.10	1191.40	640.30
5 - 5.5% - 1%HDPE	1188.80	1191.70	639.70

Fuente: Propia

Tabla 118: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.5% - 2%HDPE	1189.40	1192.70	631.80
2 - 5.5% - 2%HDPE	1188.70	1191.40	630.70
3 - 5.5% - 2%HDPE	1191.70	1194.80	635.70
4 - 5.5% - 2%HDPE	1189.30	1192.60	631.10
5 - 5.5% - 2%HDPE	1191.50	1195.90	636.00

Fuente: Propia

Tabla 119: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.5% - 3%HDPE	1194.30	1198.50	618.80
2 - 5.5% - 3%HDPE	1194.70	1198.20	619.10
3 - 5.5% - 3%HDPE	1192.90	1196.50	624.60
4 - 5.5% - 3%HDPE	1193.70	1197.80	626.90
5 - 5.5% - 3%HDPE	1193.20	1197.40	626.50

Fuente: Propia



Tabla 120: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.5% - 4%HDPE	1198.90	1199.90	615.90
2 - 5.5% - 4%HDPE	1198.20	1199.90	615.20
3 - 5.5% - 4%HDPE	1199.00	1200.10	613.10
4 - 5.5% - 4%HDPE	1196.40	1197.80	608.90
5 - 5.5% - 4%HDPE	1198.60	1199.50	607.50

Fuente: Propia

Tabla 121: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.5% - 5%HDPE	1185.40	1191.30	602.70
2 - 5.5% - 5%HDPE	1188.70	1194.30	605.10
3 - 5.5% - 5%HDPE	1188.30	1193.90	603.30
4 - 5.5% - 5%HDPE	1186.90	1192.60	603.70
5 - 5.5% - 5%HDPE	1191.60	1197.20	609.40

Fuente: Propia

Tabla 122: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 5.5% - 6%HDPE	1187.00	1191.50	601.00
2 - 5.5% - 6%HDPE	1188.90	1192.40	603.80
3 - 5.5% - 6%HDPE	1187.50	1191.80	602.70
4 - 5.5% - 6%HDPE	1188.40	1192.90	605.80
5 - 5.5% - 6%HDPE	1191.30	1193.90	604.60

Fuente: Propia



3. Mezclas adicionadas con HDPE con 6% de asfalto

Tabla 123: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6% - 1%HDPE	1186.90	1187.60	626.90
2 - 6% - 1%HDPE	1190.00	1191.60	630.60
3 - 6% - 1%HDPE	1186.30	1186.90	625.30
4 - 6% - 1%HDPE	1187.60	1188.40	640.30
5 - 6% - 1%HDPE	1190.80	1192.10	645.60

Fuente: Propia

Tabla 124: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6% - 2%HDPE	1195.40	1197.30	637.00
2 - 6% - 2%HDPE	1185.60	1186.20	631.70
3 - 6% - 2%HDPE	1189.70	1190.90	634.00
4 - 6% - 2%HDPE	1195.60	1197.50	637.80
5 - 6% - 2%HDPE	1188.90	1190.30	633.90

Fuente: Propia

Tabla 125: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6% - 3%HDPE	1189.60	1189.60	625.20
2 - 6% - 3%HDPE	1189.70	1191.40	621.70
3 - 6% - 3%HDPE	1190.80	1192.30	621.50
4 - 6% - 3%HDPE	1190.60	1191.80	621.90
5 - 6% - 3%HDPE	1189.20	1191.60	621.90

Fuente: Propia



Tabla 126: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6% - 4%HDPE	1190.30	1192.30	605.10
2 - 6% - 4%HDPE	1186.20	1189.20	601.00
3 - 6% - 4%HDPE	1184.80	1187.20	608.00
4 - 6% - 4%HDPE	1186.90	1188.50	606.70
5 - 6% - 4%HDPE	1190.50	1192.50	605.30

Fuente: Propia

Tabla 127: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6% - 5%HDPE	1189.70	1192.90	590.10
2 - 6% - 5%HDPE	1195.00	1202.00	599.90
3 - 6% - 5%HDPE	1195.10	1199.50	612.80
4 - 6% - 5%HDPE	1192.80	1196.40	609.60
5 - 6% - 5%HDPE	1195.40	1199.80	610.90

Fuente: Propia

Tabla 128: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6% - 6%HDPE	1188.90	1191.70	596.30
2 - 6% - 6%HDPE	1195.50	1201.10	600.70
3 - 6% - 6%HDPE	1187.50	1191.50	593.30
4 - 6% - 6%HDPE	1195.30	1199.60	599.70
5 - 6% - 6%HDPE	1188.60	1192.10	597.50

Fuente: Propia



4. Mezclas adicionadas con HDPE con 6.5% de asfalto

Tabla 129: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.5% - 1%HDPE	1198.90	1200.00	627.80
2 - 6.5% - 1%HDPE	1199.40	1202.20	629.40
3 - 6.5% - 1%HDPE	1199.50	1200.30	634.00
4 - 6.5% - 1%HDPE	1198.60	1201.10	631.90
5 - 6.5% - 1%HDPE	1198.30	1201.40	636.80

Fuente: Propia

Tabla 130: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.5% - 2%HDPE	1198.30	1199.60	625.40
2 - 6.5% - 2%HDPE	1198.70	1200.60	631.80
3 - 6.5% - 2%HDPE	1198.90	1199.40	630.60
4 - 6.5% - 2%HDPE	1199.10	1200.30	628.00
5 - 6.5% - 2%HDPE	1197.50	1199.80	629.80

Fuente: Propia

Tabla 131: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.5% - 3%HDPE	1198.60	1199.80	619.80
2 - 6.5% - 3%HDPE	1199.80	1200.50	612.20
3 - 6.5% - 3%HDPE	1199.00	1199.90	627.90
4 - 6.5% - 3%HDPE	1198.50	1200.40	621.00
5 - 6.5% - 3%HDPE	1198.80	1200.60	621.50

Fuente: Propia





Tabla 132: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.5% - 4%HDPE	1192.90	1198.20	602.40
2 - 6.5% - 4%HDPE	1188.60	1191.60	599.60
3 - 6.5% - 4%HDPE	1188.40	1193.40	592.10
4 - 6.5% - 4%HDPE	1190.50	1195.40	593.70
5 - 6.5% - 4%HDPE	1192.60	1196.30	598.40

Fuente: Propia

Tabla 133: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.5% - 5%HDPE	1198.50	1201.10	605.10
2 - 6.5% - 5%HDPE	1195.50	1200.10	597.80
3 - 6.5% - 5%HDPE	1193.50	1200.80	596.40
4 - 6.5% - 5%HDPE	1196.90	1200.70	599.30
5 - 6.5% - 5%HDPE	1198.10	1200.60	598.70

Fuente: Propia

Tabla 134: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 6.5% - 6%HDPE	1190.90	1197.40	583.30
2 - 6.5% - 6%HDPE	1188.30	1196.90	565.00
3 - 6.5% - 6%HDPE	1186.70	1192.70	575.60
4 - 6.5% - 6%HDPE	1188.90	1194.70	562.60
5 - 6.5% - 6%HDPE	1186.20	1192.60	574.80

Fuente: Propia



5. Mezclas adicionadas con HDPE con 7% de asfalto

Tabla 135: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 7% - 1%HDPE	1188.00	1188.70	622.40
2 - 7% - 1%HDPE	1188.40	1189.20	623.90
3 - 7% - 1%HDPE	1189.30	1190.10	617.90
4 - 7% - 1%HDPE	1191.40	1192.00	622.00
5 - 7% - 1%HDPE	1189.50	1190.20	622.40

Fuente: Propia

Tabla 136: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 7% - 2%HDPE	1189.80	1190.00	615.70
2 - 7% - 2%HDPE	1188.70	1189.90	614.00
3 - 7% - 2%HDPE	1191.20	1192.50	617.00
4 - 7% - 2%HDPE	1191.60	1192.90	616.20
5 - 7% - 2%HDPE	1189.60	1191.60	615.70

Fuente: Propia

Tabla 137: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 7% - 3%HDPE	1197.50	1198.80	622.10
2 - 7% - 3%HDPE	1197.90	1199.10	624.00
3 - 7% - 3%HDPE	1199.20	1201.10	621.70
4 - 7% - 3%HDPE	1198.60	1199.50	619.00
5 - 7% - 3%HDPE	1197.90	1199.20	620.80

Fuente: Propia



Tabla 138: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 7% - 4%HDPE	1188.80	1189.40	604.50
2 - 7% - 4%HDPE	1188.50	1189.90	605.00
3 - 7% - 4%HDPE	1192.60	1194.20	606.40
4 - 7% - 4%HDPE	1189.90	1191.90	607.90
5 - 7% - 4%HDPE	1190.70	1192.10	606.30

Fuente: Propia

Tabla 139: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 7% - 5%HDPE	1188.20	1189.50	597.60
2 - 7% - 5%HDPE	1189.10	1190.30	599.70
3 - 7% - 5%HDPE	1188.40	1189.70	597.90
4 - 7% - 5%HDPE	1191.50	1192.20	602.00
5 - 7% - 5%HDPE	1190.10	1191.60	601.00

Fuente: Propia

Tabla 140: Recolección de datos del ensayo de peso específico aparente para mezclas asfálticas compactadas con 7 % de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido
1 - 7% - 6%HDPE	1191.70	1192.30	587.20
2 - 7% - 6%HDPE	1193.80	1194.40	589.50
3 - 7% - 6%HDPE	1191.60	1192.30	589.00
4 - 7% - 6%HDPE	1193.30	1194.10	590.90
5 - 7% - 6%HDPE	1195.30	1196.60	592.00

Fuente: Propia



### 3.5.5.3 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall (mezclas asfálticas adicionadas con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado (MTC E 504)

#### a) Equipos y materiales

- Equipo de compresión Marshall (Aparato Marshall)
- Franela
- Cabezal de rotura para aparato Marshall
- Termómetro
- Franela
- Vernier o regla metálica



Vernier



Baño Maria



Franela



Aparato Marshall



Termometro



Cabezal de rotura

Figura 168: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall (mezclas asfálticas adicionadas con HDPE)

#### b) Preparacion de la muestra

Para el ensayo de se uso las muestras asfálticas adicionadas con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado con porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE esto en base a los porcentajes de 5.5%, 6%, 6.33% (porcentaje optimo), 6.5% y 7% previamente ya realizadas.



Figura 169: Especímenes Marshall adicionales con HDPE reciclado

c) Procedimiento

1. Se tomo las medidas a cada especimen adicionado con HDPE te tomo 4 medidas de altura y 4 medidas de diametro.



Figura 170: Toma de datos de altura y diámetro de las muestras adicionadas con HDPE

2. El Baño Maria se calento a un temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , teniendo la temperatura correcta se colocaron las muestras teniendo en cuenta que la altura del agua este por encima de los 25mm como minimo de las muestras, el tiempo de cada muestra sumergida es de 30 a 40 minutos a temperatura constante, la temperatura del cabezal del rotura tiene que estar a un temperatura que va desde los  $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ .



Figura 171: Temperatura de especímenes Marshall adicionadas con HDPE en Baño María



Figura 172: Temperatura del cabezal de rotura

3. Pasado los 30 minutos de la muestra se retiro la muestra del agua, se seco el exceso de agua con una franela y se coloco en el cabezal de rotura para la prueba, no debe exceder 30 segundos despues de retirada del agua hasta comenzar con el ensayo de compresion Marsshall



Figura 173: Espécimen Marshall adicionado con HDPE retirado de Baño María

4. Se inicio el ensayo con el aparato Marshall colocando el cabezal de rotura alineado y centrado asi como el medidor de flujo.



Figura 174: Colocado del espécimen adicionado con HDPE

5. Una vez el ensayo comenzado se toman los datos de estabilidad y lectura de flujo.



Figura 175: Toma de datos de estabilidad y flujo.

6. El mismo procedimiento se realiza con todas las muestras en este caso las muestras asfálticas adicionadas con polietileno de (HDPE) reciclado.



Figura 176: Ensayo de Estabilidad y Flujo.





d) Toma de datos

1. Mezclas adicionadas con HDPE, con el contenido óptimo de asfalto de 6.33% (alturas)

Tabla 141: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.33% - 1%)	6.25	6.25	6.25	6.30	6.26
MUESTRA 2 (6.33% - 1%)	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
MUESTRA 3 (6.33% - 1%)	6.40	6.45	6.30	6.35	6.38
MUESTRA 4 (6.33% - 1%)	6.45	6.40	6.35	6.35	6.39
MUESTRA 5 (6.33% - 1%)	6.20	6.25	6.30	6.25	6.25

Fuente: Propia

Tabla 142: N Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.33% - 2%)	6.60	6.55	6.55	6.60	6.58
MUESTRA 2 (6.33% - 2%)	6.35	6.30	6.35	6.45	6.36
MUESTRA 3 (6.33% - 2%)	6.35	6.35	6.45	6.35	6.38
MUESTRA 4 (6.33% - 2%)	6.25	6.25	6.20	6.30	6.25
MUESTRA 5 (6.33% - 2%)	6.40	6.45	6.40	6.35	6.40

Fuente: Propia

Tabla 143: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.33% - 3%)	6.55	6.50	6.45	6.35	6.46
MUESTRA 2 (6.33% - 3%)	6.95	6.95	6.85	6.95	6.93
MUESTRA 3 (6.33% - 3%)	6.80	6.75	6.80	6.75	6.78
MUESTRA 4 (6.33% - 3%)	6.50	6.45	6.45	6.55	6.49
MUESTRA 5 (6.33% - 3%)	6.40	6.45	6.45	6.50	6.45

Fuente: Propia



Tabla 144: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.33% - 4%)	6.75	6.60	6.80	6.65	6.70
MUESTRA 2 (6.33% - 4%)	6.70	6.70	6.80	6.75	6.74
MUESTRA 3 (6.33% - 4%)	6.60	6.60	6.70	6.60	6.63
MUESTRA 4 (6.33% - 4%)	6.40	6.45	6.50	6.45	6.45
MUESTRA 5 (6.33% - 4%)	6.50	6.55	6.50	6.50	6.51

Fuente: Propia

Tabla 145: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.33% - 5%)	6.95	6.90	6.95	6.90	6.93
MUESTRA 2 (6.33% - 5%)	6.90	6.95	6.85	6.85	6.89
MUESTRA 3 (6.33% - 5%)	6.95	6.85	6.90	6.90	6.90
MUESTRA 4 (6.33% - 5%)	6.85	6.85	6.90	6.90	6.88
MUESTRA 5 (6.33% - 5%)	6.95	6.95	6.85	6.85	6.90

Fuente: Propia

Tabla 146: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33 % de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.33% - 6%)	6.80	6.80	6.90	6.90	6.85
MUESTRA 2 (6.33% - 6%)	6.95	6.95	6.95	6.95	6.95
MUESTRA 3 (6.33% - 6%)	6.95	6.90	6.95	6.85	6.91
MUESTRA 4 (6.33% - 6%)	6.80	6.85	6.90	6.95	6.88
MUESTRA 5 (6.33% - 6%)	6.95	6.90	6.95	6.90	6.93

Fuente: Propia



2. Mezclas adicionadas con HDPE, con 5.5% de cemento asfáltico (alturas)

Tabla 147: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5% - 1%)	6.30	6.15	6.35	6.30	6.28
MUESTRA 2 (5.5% - 1%)	6.25	6.30	6.30	6.30	6.29
MUESTRA 3 (5.5% - 1%)	6.15	6.20	6.20	6.15	6.18
MUESTRA 4 (5.5% - 1%)	6.35	6.35	6.30	6.30	6.33
MUESTRA 5 (5.5% - 1%)	6.25	6.25	6.30	6.25	6.26

Fuente: Propia

Tabla 148: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5% - 2%)	6.40	6.55	6.45	6.35	6.44
MUESTRA 2 (5.5% - 2%)	6.40	6.55	6.40	6.40	6.44
MUESTRA 3 (5.5% - 2%)	6.35	6.40	4.35	6.40	5.88
MUESTRA 4 (5.5% - 2%)	6.45	6.40	6.45	6.45	6.44
MUESTRA 5 (5.5% - 2%)	6.30	6.30	6.40	6.40	6.35

Fuente: Propia

Tabla 149: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5% - 3%)	6.50	6.40	6.45	6.55	6.48
MUESTRA 2 (5.5% - 3%)	6.45	6.50	6.50	6.50	6.49
MUESTRA 3 (5.5% - 3%)	6.40	6.45	6.40	6.45	6.43
MUESTRA 4 (5.5% - 3%)	6.50	6.45	6.45	6.50	6.48
MUESTRA 5 (5.5% - 3%)	6.50	6.45	6.45	6.45	6.46

Fuente: Propia



Tabla 150: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5% - 4%)	6.25	6.20	6.20	6.25	6.23
MUESTRA 2 (5.5% - 4%)	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
MUESTRA 3 (5.5% - 4%)	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20
MUESTRA 4 (5.5% - 4%)	6.25	6.25	6.25	6.20	6.24
MUESTRA 5 (5.5% - 4%)	6.20	6.20	6.25	6.25	6.23

Fuente: Propia

Tabla 151: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5% - 5%)	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70
MUESTRA 2 (5.5% - 5%)	6.65	6.70	6.60	6.70	6.66
MUESTRA 3 (5.5% - 5%)	6.70	6.65	6.65	6.70	6.68
MUESTRA 4 (5.5% - 5%)	6.65	6.60	6.60	6.60	6.61
MUESTRA 5 (5.5% - 5%)	6.70	6.70	6.65	6.65	6.68

Fuente: Propia

Tabla 152: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (5.5% - 6%)	6.90	6.70	6.90	6.85	6.84
MUESTRA 2 (5.5% - 6%)	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70
MUESTRA 3 (5.5% - 6%)	6.80	6.80	6.90	6.90	6.85
MUESTRA 4 (5.5% - 6%)	6.90	6.85	6.85	6.85	6.86
MUESTRA 5 (5.5% - 6%)	6.70	6.70	6.80	6.80	6.75

Fuente: Propia



3. Mezclas adicionadas con HDPE, con 6% de cemento asfáltico (alturas)

Tabla 153: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6% - 1%)	6.35	6.45	6.35	6.35	6.38
MUESTRA 2 (6% - 1%)	6.25	6.30	6.40	6.45	6.35
MUESTRA 3 (6% - 1%)	6.50	6.35	6.35	6.45	6.41
MUESTRA 4 (6% - 1%)	6.30	6.35	6.35	6.40	6.35
MUESTRA 5 (6% - 1%)	6.40	6.35	6.35	6.35	6.36

Fuente: Propia

Tabla 154: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6% - 2%)	6.35	6.45	6.30	6.35	6.36
MUESTRA 2 (6% - 2%)	6.35	6.30	6.30	6.35	6.33
MUESTRA 3 (6% - 2%)	6.65	6.60	6.55	6.50	6.58
MUESTRA 4 (6% - 2%)	6.40	6.35	6.40	6.35	6.38
MUESTRA 5 (6% - 2%)	6.30	6.40	6.30	6.35	6.34

Fuente: Propia

Tabla 155: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6% - 3%)	6.60	6.65	6.65	6.55	6.61
MUESTRA 2 (6% - 3%)	6.45	6.50	6.55	6.50	6.50
MUESTRA 3 (6% - 3%)	6.55	6.50	6.60	6.55	6.55
MUESTRA 4 (6% - 3%)	6.45	6.45	6.50	6.50	6.48
MUESTRA 5 (6% - 3%)	6.50	6.45	6.45	6.45	6.46

Fuente: Propia



Tabla 156: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6% - 4%)	6.95	6.85	6.75	6.90	6.86
MUESTRA 2 (6% - 4%)	6.90	6.95	6.90	6.75	6.88
MUESTRA 3 (6% - 4%)	6.85	6.75	6.75	6.80	6.79
MUESTRA 4 (6% - 4%)	6.80	6.85	6.80	6.80	6.81
MUESTRA 5 (6% - 4%)	6.90	6.85	6.85	6.85	6.86

Fuente: Propia

Tabla 157: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6% - 5%)	6.90	6.80	6.75	6.70	6.79
MUESTRA 2 (6% - 5%)	6.95	6.95	6.90	6.80	6.90
MUESTRA 3 (6% - 5%)	6.80	6.75	6.95	6.80	6.83
MUESTRA 4 (6% - 5%)	6.80	6.85	6.80	6.80	6.81
MUESTRA 5 (6% - 5%)	6.85	6.80	6.90	6.85	6.85

Fuente: Propia

Tabla 158: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6% - 6%)	6.95	6.95	6.90	6.95	6.94
MUESTRA 2 (6% - 6%)	6.90	6.90	6.95	6.90	6.91
MUESTRA 3 (6% - 6%)	6.95	6.90	6.90	6.90	6.91
MUESTRA 4 (6% - 6%)	6.85	6.95	6.85	6.90	6.89
MUESTRA 5 (6% - 6%)	6.85	6.95	6.90	6.85	6.89

Fuente: Propia



4. Mezclas adicionadas con HDPE, con 6.5% de cemento asfáltico (alturas)

Tabla 159: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5% - 1%)	6.45	6.40	6.45	6.60	6.48
MUESTRA 2 (6.5% - 1%)	6.50	6.50	6.55	6.50	6.51
MUESTRA 3 (6.5% - 1%)	6.60	6.65	6.60	6.60	6.61
MUESTRA 4 (6.5% - 1%)	6.50	6.55	6.50	6.60	6.54
MUESTRA 5 (6.5% - 1%)	6.55	6.50	6.60	6.60	6.56

Fuente: Propia

Tabla 160: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5 % de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5% - 2%)	6.80	6.75	6.75	6.70	6.75
MUESTRA 2 (6.5% - 2%)	6.60	6.50	6.60	6.50	6.55
MUESTRA 3 (6.5% - 2%)	6.40	6.45	6.45	6.45	6.44
MUESTRA 4 (6.5% - 2%)	6.50	6.65	6.65	6.60	6.60
MUESTRA 5 (6.5% - 2%)	6.45	6.45	6.50	6.50	6.48

Fuente: Propia

Tabla 161: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5% - 3%)	6.85	6.80	6.95	6.85	6.86
MUESTRA 2 (6.5% - 3%)	6.85	6.80	6.80	6.80	6.81
MUESTRA 3 (6.5% - 3%)	6.90	6.80	6.80	6.80	6.83
MUESTRA 4 (6.5% - 3%)	6.80	6.85	6.85	6.85	6.84
MUESTRA 5 (6.5% - 3%)	6.80	6.80	6.85	6.85	6.83

Fuente: Propia



Tabla 162: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5% - 4%)	6.85	6.95	6.95	6.85	6.90
MUESTRA 2 (6.5% - 4%)	6.95	6.85	6.90	6.95	6.91
MUESTRA 3 (6.5% - 4%)	6.90	6.95	6.95	6.90	6.93
MUESTRA 4 (6.5% - 4%)	6.85	6.85	6.85	6.90	6.86
MUESTRA 5 (6.5% - 4%)	6.95	6.95	6.95	6.90	6.94

Fuente: Propia

Tabla 163: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5% - 5%)	6.90	6.85	6.85	6.95	6.89
MUESTRA 2 (6.5% - 5%)	6.90	6.90	6.85	6.90	6.89
MUESTRA 3 (6.5% - 5%)	6.95	6.95	6.90	6.90	6.93
MUESTRA 4 (6.5% - 5%)	6.85	6.90	6.90	6.90	6.89
MUESTRA 5 (6.5% - 5%)	6.85	6.85	6.90	6.85	6.86

Fuente: Propia

Tabla 164: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (6.5% - 6%)	6.90	6.95	6.95	6.95	6.94
MUESTRA 2 (6.5% - 6%)	6.95	6.95	6.90	6.90	6.93
MUESTRA 3 (6.5% - 6%)	6.95	6.90	6.90	6.90	6.91
MUESTRA 4 (6.5% - 6%)	6.90	6.85	6.85	6.90	6.88
MUESTRA 5 (6.5% - 6%)	6.95	6.90	6.90	6.95	6.93

Fuente: Propia





5. Mezclas adicionadas con HDPE, con 7% de cemento asfaltico (alturas)

Tabla 165: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfaltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (7% - 1%)	6.20	6.15	6.15	6.20	6.18
MUESTRA 2 (7% - 1%)	6.20	6.15	6.15	6.15	6.16
MUESTRA 3 (7% - 1%)	6.30	6.25	6.25	6.30	6.28
MUESTRA 4 (7% - 1%)	6.35	6.45	6.40	6.40	6.40
MUESTRA 5 (7% - 1%)	6.30	6.35	6.40	6.35	6.35

Fuente: Propia

Tabla 166: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfaltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (7% - 2%)	6.50	6.40	6.45	6.50	6.46
MUESTRA 2 (7% - 2%)	6.35	6.40	6.35	6.40	6.38
MUESTRA 3 (7% - 2%)	6.45	6.50	6.50	6.45	6.48
MUESTRA 4 (7% - 2%)	6.40	6.50	6.45	6.45	6.45
MUESTRA 5 (7% - 2%)	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50

Fuente: Propia

Tabla 167: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfaltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (7% - 3%)	6.85	6.90	6.85	6.85	6.86
MUESTRA 2 (7% - 3%)	6.75	6.60	6.65	6.60	6.65
MUESTRA 3 (7% - 3%)	6.70	6.85	6.80	6.80	6.79
MUESTRA 4 (7% - 3%)	6.55	6.65	6.65	6.65	6.63
MUESTRA 5 (7% - 3%)	6.70	6.75	6.80	6.75	6.75

Fuente: Propia



Tabla 168: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (7% - 4%)	6.75	6.65	6.60	6.60	6.65
MUESTRA 2 (7% - 4%)	6.65	6.60	6.70	6.70	6.66
MUESTRA 3 (7% - 4%)	6.70	6.75	6.70	6.70	6.71
MUESTRA 4 (7% - 4%)	6.65	6.60	6.65	6.65	6.64
MUESTRA 5 (7% - 4%)	6.70	6.75	6.75	6.75	6.74

Fuente: Propia

Tabla 169: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (7% - 5%)	6.85	6.75	6.75	6.80	6.79
MUESTRA 2 (7% - 5%)	6.80	6.85	6.75	6.75	6.79
MUESTRA 3 (7% - 5%)	6.70	6.70	6.75	6.75	6.73
MUESTRA 4 (7% - 5%)	6.85	6.80	6.80	6.80	6.81
MUESTRA 5 (7% - 5%)	6.80	6.85	6.75	6.75	6.79

Fuente: Propia

Tabla 170: Recolección de datos de medidas de alturas de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURAS (CM)				ALTURA PROMEDIO
	H1	H2	H3	H4	
MUESTRA 1 (7% - 6%)	6.95	6.95	6.95	6.90	6.94
MUESTRA 2 (7% - 6%)	6.85	6.90	6.90	6.90	6.89
MUESTRA 3 (7% - 6%)	6.85	6.85	6.80	6.85	6.84
MUESTRA 4 (7% - 6%)	6.90	6.95	6.95	6.90	6.93
MUESTRA 5 (7% - 6%)	6.90	6.85	6.95	6.90	6.90

Fuente: Propia



6. Mezclas adicionadas con HDPE, con el contenido óptimo de asfalto de 6.33% (Flujo)

Tabla 171: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 1%)	3.78
MUESTRA 2 (6.33% - 1%)	3.87
MUESTRA 3 (6.33% - 1%)	3.72
MUESTRA 4 (6.33% - 1%)	3.70
MUESTRA 5 (6.33% - 1%)	3.62

Fuente: Propia

Tabla 172: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 2%)	4.22
MUESTRA 2 (6.33% - 2%)	3.68
MUESTRA 3 (6.33% - 2%)	4.00
MUESTRA 4 (6.33% - 2%)	4.12
MUESTRA 5 (6.33% - 2%)	3.72

Fuente: Propia

Tabla 173: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 3%)	4.41
MUESTRA 2 (6.33% - 3%)	4.51
MUESTRA 3 (6.33% - 3%)	4.46
MUESTRA 4 (6.33% - 3%)	4.42
MUESTRA 5 (6.33% - 3%)	4.51

Fuente: Propia



Tabla 174: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 4%)	4.48
MUESTRA 2 (6.33% - 4%)	4.41
MUESTRA 3 (6.33% - 4%)	4.21
MUESTRA 4 (6.33% - 4%)	4.37
MUESTRA 5 (6.33% - 4%)	4.55

Fuente: Propia

Tabla 175: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 5%)	4.61
MUESTRA 2 (6.33% - 5%)	4.15
MUESTRA 3 (6.33% - 5%)	3.21
MUESTRA 4 (6.33% - 5%)	4.41
MUESTRA 5 (6.33% - 5%)	4.36

Fuente: Propia

Tabla 176: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 6%)	3.96
MUESTRA 2 (6.33% - 6%)	3.92
MUESTRA 3 (6.33% - 6%)	4.32
MUESTRA 4 (6.33% - 6%)	3.59
MUESTRA 5 (6.33% - 6%)	4.01

Fuente: Propia



7. Mezclas adicionadas con HDPE, con 5.5% de cemento asfáltico (Flujo)

Tabla 177: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5% - 1%)	3.37
MUESTRA 2 (5.5% - 1%)	3.40
MUESTRA 3 (5.5% - 1%)	3.34
MUESTRA 4 (5.5% - 1%)	3.42
MUESTRA 5 (5.5% - 1%)	3.39

Fuente: Propia

Tabla 178: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5% - 2%)	3.77
MUESTRA 2 (5.5% - 2%)	3.75
MUESTRA 3 (5.5% - 2%)	3.69
MUESTRA 4 (5.5% - 2%)	3.65
MUESTRA 5 (5.5% - 2%)	3.78

Fuente: Propia

Tabla 179: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5% - 3%)	4.04
MUESTRA 2 (5.5% - 3%)	4.10
MUESTRA 3 (5.5% - 3%)	4.01
MUESTRA 4 (5.5% - 3%)	4.12
MUESTRA 5 (5.5% - 3%)	4.08

Fuente: Propia



Tabla 180: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5% - 4%)	4.46
MUESTRA 2 (5.5% - 4%)	4.38
MUESTRA 3 (5.5% - 4%)	4.35
MUESTRA 4 (5.5% - 4%)	4.44
MUESTRA 5 (5.5% - 4%)	4.37

Fuente: Propia

Tabla 181: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5% - 5%)	4.45
MUESTRA 2 (5.5% - 5%)	4.44
MUESTRA 3 (5.5% - 5%)	4.48
MUESTRA 4 (5.5% - 5%)	4.38
MUESTRA 5 (5.5% - 5%)	4.40

Fuente: Propia

Tabla 182: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5% - 6%)	4.12
MUESTRA 2 (5.5% - 6%)	4.12
MUESTRA 3 (5.5% - 6%)	4.03
MUESTRA 4 (5.5% - 6%)	4.02
MUESTRA 5 (5.5% - 6%)	4.06

Fuente: Propia



8. Mezclas adicionadas con HDPE, con 6% de cemento asfáltico (Flujo)

Tabla 183: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6% - 1%)	3.70
MUESTRA 2 (6% - 1%)	3.70
MUESTRA 3 (6% - 1%)	3.64
MUESTRA 4 (6% - 1%)	3.72
MUESTRA 5 (6% - 1%)	3.69

Fuente: Propia

Tabla 184: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6% - 2%)	3.91
MUESTRA 2 (6% - 2%)	3.98
MUESTRA 3 (6% - 2%)	3.40
MUESTRA 4 (6% - 2%)	3.52
MUESTRA 5 (6% - 2%)	3.78

Fuente: Propia

Tabla 185: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6% - 3%)	3.87
MUESTRA 2 (6% - 3%)	3.82
MUESTRA 3 (6% - 3%)	3.31
MUESTRA 4 (6% - 3%)	3.65
MUESTRA 5 (6% - 3%)	3.84

Fuente: Propia



Tabla 186: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6% - 4%)	3.60
MUESTRA 2 (6% - 4%)	3.54
MUESTRA 3 (6% - 4%)	3.70
MUESTRA 4 (6% - 4%)	3.68
MUESTRA 5 (6% - 4%)	3.69

Fuente: Propia

Tabla 187: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6% - 5%)	3.30
MUESTRA 2 (6% - 5%)	4.21
MUESTRA 3 (6% - 5%)	3.69
MUESTRA 4 (6% - 5%)	3.52
MUESTRA 5 (6% - 5%)	3.69

Fuente: Propia

Tabla 188: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6% - 6%)	3.69
MUESTRA 2 (6% - 6%)	3.89
MUESTRA 3 (6% - 6%)	3.25
MUESTRA 4 (6% - 6%)	3.36
MUESTRA 5 (6% - 6%)	3.58

Fuente: Propia





9. Mezclas adicionadas con HDPE, con 6.5% de cemento asfáltico (Flujo)

Tabla 189: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5% - 1%)	3.85
MUESTRA 2 (6.5% - 1%)	3.73
MUESTRA 3 (6.5% - 1%)	3.86
MUESTRA 4 (6.5% - 1%)	3.83
MUESTRA 5 (6.5% - 1%)	3.88

Fuente: Propia

Tabla 190: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5% - 2%)	3.91
MUESTRA 2 (6.5% - 2%)	4.26
MUESTRA 3 (6.5% - 2%)	3.97
MUESTRA 4 (6.5% - 2%)	3.95
MUESTRA 5 (6.5% - 2%)	3.93

Fuente: Propia

Tabla 191: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5% - 3%)	3.99
MUESTRA 2 (6.5% - 3%)	4.14
MUESTRA 3 (6.5% - 3%)	4.38
MUESTRA 4 (6.5% - 3%)	4.25
MUESTRA 5 (6.5% - 3%)	4.30

Fuente: Propia



Tabla 192: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5% - 4%)	4.64
MUESTRA 2 (6.5% - 4%)	4.44
MUESTRA 3 (6.5% - 4%)	4.78
MUESTRA 4 (6.5% - 4%)	4.68
MUESTRA 5 (6.5% - 4%)	4.72

Fuente: Propia

Tabla 193: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5% - 5%)	4.70
MUESTRA 2 (6.5% - 5%)	4.83
MUESTRA 3 (6.5% - 5%)	4.92
MUESTRA 4 (6.5% - 5%)	4.79
MUESTRA 5 (6.5% - 5%)	4.75

Fuente: Propia

Tabla 194: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5% - 6%)	5.13
MUESTRA 2 (6.5% - 6%)	5.05
MUESTRA 3 (6.5% - 6%)	5.11
MUESTRA 4 (6.5% - 6%)	5.12
MUESTRA 5 (6.5% - 6%)	5.11

Fuente: Propia



10. Mezclas adicionadas con HDPE, con 7% de cemento asfáltico (Flujo)

Tabla 195: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (7% - 1%)	4.19
MUESTRA 2 (7% - 1%)	4.26
MUESTRA 3 (7% - 1%)	4.36
MUESTRA 4 (7% - 1%)	4.17
MUESTRA 5 (7% - 1%)	4.21

Fuente: Propia

Tabla 196: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (7% - 2%)	4.13
MUESTRA 2 (7% - 2%)	4.36
MUESTRA 3 (7% - 2%)	4.13
MUESTRA 4 (7% - 2%)	4.16
MUESTRA 5 (7% - 2%)	4.11

Fuente: Propia

Tabla 197: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (7% - 3%)	4.05
MUESTRA 2 (7% - 3%)	4.14
MUESTRA 3 (7% - 3%)	4.16
MUESTRA 4 (7% - 3%)	4.20
MUESTRA 5 (7% - 3%)	4.19

Fuente: Propia



Tabla 198: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (7% - 4%)	4.10
MUESTRA 2 (7% - 4%)	4.06
MUESTRA 3 (7% - 4%)	4.12
MUESTRA 4 (7% - 4%)	4.00
MUESTRA 5 (7% - 4%)	4.16

Fuente: Propia

Tabla 199: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (7% - 5%)	3.87
MUESTRA 2 (7% - 5%)	3.56
MUESTRA 3 (7% - 5%)	3.70
MUESTRA 4 (7% - 5%)	3.46
MUESTRA 5 (7% - 5%)	3.58

Fuente: Propia

Tabla 200: Recolección de datos de Flujo de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (7% - 6%)	3.40
MUESTRA 2 (7% - 6%)	3.20
MUESTRA 3 (7% - 6%)	3.36
MUESTRA 4 (7% - 6%)	3.01
MUESTRA 5 (7% - 6%)	4.40

Fuente: Propia



Mezclas adicionadas con HDPE, con el contenido óptimo de asfalto de 6.33% (Estabilidad)

Tabla 201: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfaltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.33% - 1%)	1424.18
MUESTRA 2 (6.33% - 1%)	1366.64
MUESTRA 3 (6.33% - 1%)	1388.34
MUESTRA 4 (6.33% - 1%)	1345.85
MUESTRA 5 (6.33% - 1%)	1322.32

Fuente: Propia

Tabla 202: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfaltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.33% - 2%)	1495.14
MUESTRA 2 (6.33% - 2%)	1424.58
MUESTRA 3 (6.33% - 2%)	1387.98
MUESTRA 4 (6.33% - 2%)	1305.57
MUESTRA 5 (6.33% - 2%)	1360.99

Fuente: Propia

Tabla 203: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfaltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.33% - 3%)	1395.96
MUESTRA 2 (6.33% - 3%)	1580.65
MUESTRA 3 (6.33% - 3%)	1376.60
MUESTRA 4 (6.33% - 3%)	1556.27
MUESTRA 5 (6.33% - 3%)	1579.00

Fuente: Propia



Tabla 204: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.33% - 4%)	1557.88
MUESTRA 2 (6.33% - 4%)	1422.34
MUESTRA 3 (6.33% - 4%)	1573.04
MUESTRA 4 (6.33% - 4%)	1459.67
MUESTRA 5 (6.33% - 4%)	1506.79

Fuente: Propia

Tabla 205: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.33% - 5%)	1673.45
MUESTRA 2 (6.33% - 5%)	1599.56
MUESTRA 3 (6.33% - 5%)	1637.36
MUESTRA 4 (6.33% - 5%)	1565.63
MUESTRA 5 (6.33% - 5%)	1459.64

Fuente: Propia

Tabla 206: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.33% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.33% - 6%)	1457.25
MUESTRA 2 (6.33% - 6%)	1496.21
MUESTRA 3 (6.33% - 6%)	1562.74
MUESTRA 4 (6.33% - 6%)	1685.69
MUESTRA 5 (6.33% - 6%)	1643.49

Fuente: Propia



11. Mezclas adicionadas con HDPE, con 5.5% de cemento asfáltico (Estabilidad)

Tabla 207: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5% - 1%)	1207.25
MUESTRA 2 (5.5% - 1%)	1215.88
MUESTRA 3 (5.5% - 1%)	1201.54
MUESTRA 4 (5.5% - 1%)	1267.34
MUESTRA 5 (5.5% - 1%)	1279.42

Fuente: Propia

Tabla 208: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5% - 2%)	1171.04
MUESTRA 2 (5.5% - 2%)	1189.73
MUESTRA 3 (5.5% - 2%)	1182.55
MUESTRA 4 (5.5% - 2%)	1162.85
MUESTRA 5 (5.5% - 2%)	1175.04

Fuente: Propia

Tabla 209: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5% - 3%)	1260.90
MUESTRA 2 (5.5% - 3%)	1280.56
MUESTRA 3 (5.5% - 3%)	1284.98
MUESTRA 4 (5.5% - 3%)	1258.83
MUESTRA 5 (5.5% - 3%)	1372.33

Fuente: Propia



Tabla 210: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5% - 4%)	1365.27
MUESTRA 2 (5.5% - 4%)	1347.87
MUESTRA 3 (5.5% - 4%)	1339.68
MUESTRA 4 (5.5% - 4%)	1369.63
MUESTRA 5 (5.5% - 4%)	1344.97

Fuente: Propia

Tabla 211: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5% - 5%)	1500.65
MUESTRA 2 (5.5% - 5%)	1459.28
MUESTRA 3 (5.5% - 5%)	1683.23
MUESTRA 4 (5.5% - 5%)	1402.45
MUESTRA 5 (5.5% - 5%)	1587.35

Fuente: Propia

Tabla 212: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 5.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (5.5% - 6%)	1845.54
MUESTRA 2 (5.5% - 6%)	1776.17
MUESTRA 3 (5.5% - 6%)	1787.25
MUESTRA 4 (5.5% - 6%)	1623.64
MUESTRA 5 (5.5% - 6%)	1321.47

Fuente: Propia





12. Mezclas adicionadas con HDPE, con 6% de cemento asfáltico (Estabilidad)

Tabla 213: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6% - 1%)	1333.68
MUESTRA 2 (6% - 1%)	1387.87
MUESTRA 3 (6% - 1%)	1322.29
MUESTRA 4 (6% - 1%)	1256.79
MUESTRA 5 (6% - 1%)	1496.34

Fuente: Propia

Tabla 214: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6% - 2%)	1076.20
MUESTRA 2 (6% - 2%)	1440.03
MUESTRA 3 (6% - 2%)	1481.22
MUESTRA 4 (6% - 2%)	1483.98
MUESTRA 5 (6% - 2%)	1482.52

Fuente: Propia

Tabla 215: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6% - 3%)	1590.76
MUESTRA 2 (6% - 3%)	1534.98
MUESTRA 3 (6% - 3%)	1401.52
MUESTRA 4 (6% - 3%)	1582.76
MUESTRA 5 (6% - 3%)	1568.35

Fuente: Propia



Tabla 216: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6% - 4%)	1528.85
MUESTRA 2 (6% - 4%)	1544.52
MUESTRA 3 (6% - 4%)	1509.96
MUESTRA 4 (6% - 4%)	1587.36
MUESTRA 5 (6% - 4%)	1773.36

Fuente: Propia

Tabla 217: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6% - 5%)	1659.19
MUESTRA 2 (6% - 5%)	1556.88
MUESTRA 3 (6% - 5%)	1507.56
MUESTRA 4 (6% - 5%)	1548.97
MUESTRA 5 (6% - 5%)	1527.56

Fuente: Propia

Tabla 218: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6% - 6%)	1677.10
MUESTRA 2 (6% - 6%)	1484.11
MUESTRA 3 (6% - 6%)	1715.51
MUESTRA 4 (6% - 6%)	1499.46
MUESTRA 5 (6% - 6%)	1685.99

Fuente: Propia



13. Mezclas adicionadas con HDPE, con 6.5% de cemento asfáltico (Estabilidad)

Tabla 219: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5% - 1%)	1076.68
MUESTRA 2 (6.5% - 1%)	965.00
MUESTRA 3 (6.5% - 1%)	1429.75
MUESTRA 4 (6.5% - 1%)	1362.40
MUESTRA 5 (6.5% - 1%)	1284.90

Fuente: Propia

Tabla 220: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5% - 2%)	1175.61
MUESTRA 2 (6.5% - 2%)	1043.37
MUESTRA 3 (6.5% - 2%)	1251.42
MUESTRA 4 (6.5% - 2%)	1467.24
MUESTRA 5 (6.5% - 2%)	1387.53

Fuente: Propia

Tabla 221: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5% - 3%)	1212.76
MUESTRA 2 (6.5% - 3%)	1245.99
MUESTRA 3 (6.5% - 3%)	1367.01
MUESTRA 4 (6.5% - 3%)	1264.96
MUESTRA 5 (6.5% - 3%)	1236.78

Fuente: Propia



Tabla 222: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5% - 4%)	1236.86
MUESTRA 2 (6.5% - 4%)	1268.54
MUESTRA 3 (6.5% - 4%)	1328.34
MUESTRA 4 (6.5% - 4%)	1022.86
MUESTRA 5 (6.5% - 4%)	1163.49

Fuente: Propia

Tabla 223: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5% - 5%)	1368.90
MUESTRA 2 (6.5% - 5%)	1264.86
MUESTRA 3 (6.5% - 5%)	1607.36
MUESTRA 4 (6.5% - 5%)	1373.35
MUESTRA 5 (6.5% - 5%)	1289.75

Fuente: Propia

Tabla 224: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 6.5% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (6.5% - 6%)	1528.65
MUESTRA 2 (6.5% - 6%)	1105.27
MUESTRA 3 (6.5% - 6%)	1378.95
MUESTRA 4 (6.5% - 6%)	1449.73
MUESTRA 5 (6.5% - 6%)	1794.47

Fuente: Propia



14. Mezclas adicionadas con HDPE, con 7% de cemento asfáltico (Estabilidad)

Tabla 225: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (7% - 1%)	1093.00
MUESTRA 2 (7% - 1%)	1138.37
MUESTRA 3 (7% - 1%)	1236.35
MUESTRA 4 (7% - 1%)	1085.37
MUESTRA 5 (7% - 1%)	1025.70

Fuente: Propia

Tabla 226: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (7% - 2%)	1324.05
MUESTRA 2 (7% - 2%)	1108.60
MUESTRA 3 (7% - 2%)	1250.36
MUESTRA 4 (7% - 2%)	1136.65
MUESTRA 5 (7% - 2%)	1165.80

Fuente: Propia

Tabla 227: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (7% - 3%)	1123.01
MUESTRA 2 (7% - 3%)	1450.65
MUESTRA 3 (7% - 3%)	1390.64
MUESTRA 4 (7% - 3%)	1258.36
MUESTRA 5 (7% - 3%)	1354.65

Fuente: Propia



Tabla 228: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (7% - 4%)	1253.03
MUESTRA 2 (7% - 4%)	1356.10
MUESTRA 3 (7% - 4%)	1296.63
MUESTRA 4 (7% - 4%)	1456.65
MUESTRA 5 (7% - 4%)	1536.46

Fuente: Propia

Tabla 229: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (7% - 5%)	1801.67
MUESTRA 2 (7% - 5%)	1586.70
MUESTRA 3 (7% - 5%)	1686.46
MUESTRA 4 (7% - 5%)	1780.36
MUESTRA 5 (7% - 5%)	1569.70

Fuente: Propia

Tabla 230: Recolección de datos de Estabilidad de las mezclas asfálticas compactadas con 7% de cemento asfáltico adicionadas con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD
MUESTRA 1 (7% - 6%)	2153.02
MUESTRA 2 (7% - 6%)	1968.63
MUESTRA 3 (7% - 6%)	1836.69
MUESTRA 4 (7% - 6%)	2002.37
MUESTRA 5 (7% - 6%)	1789.70

Fuente: Propia



3.5.5.4 Resistencia de mezclas asfálticas adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado compactadas al daño inducido por humedad (MTC E 522)

a) Materiales y equipos:

- Moldes Marshall
- Canastilla de flotación
- Eyector de muestras
- Balanza de flotación
- Vernier
- Baño María
- Equipo de compresión Marshall (martillo compactador)
- Horno eléctrico
- Congelador
- Cabezal de rotura diametral



Compactador



Moldes Marshall



Cabezal de Rotura Diametral



Vernier



Baño Maria



Canastilla



Eyector de Muestras



Balanza



Maquina Marshall



Horno



Termometro

Figura 177: Equipos y materiales – Resistencia de mezclas asfálticas adicionadas con HDPE compactadas al daño inducido por humedad

a) Preparacion de la muestra

La muestra sera preparada con el contenido optimo de asfalto de las muestras patron a este se le adicionara el 1% de HDPE, se sacaron los pesos de cada tamiz asi como del filler y cemento asfaltico.

b) Prodecimiento

1. Para este ensayo se necesitaran 2 grupos para ser ensayados la primera en condicion seca y la segunda en condicion saturada (acondicionamiento humedo con ciclo de congelamiento), para este ensayo se usaron 6 muestras con el porcentaje optimo de asfalto y adicionas con 1% de HDPE y se separaran en 2 grupos de 3 muestras.
2. Despues de tener los pesos de cada tamiz y llegar al proceso de mezclado de los agregados con el cemento asfaltico asi como del filler y se le adiciono 1% de polietileno de alta densidad reciclado (HDPE) en frio, la mezcla es colocada en un bandeja de aluminio de profundidad 25mm que fue puesta a temperatura ambiente por  $2 \pm 0.5$  horas, la bandeja con la muestra fue llevada al horno a  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por un tiempo de  $16 \pm 1$  horas para el proceso de curado.





Figura 178: Llenado del recipiente de aluminio con la mezcla asfáltica adicionada con HDPE

3. Cada recipiente de aluminio fue llenada con 2 muestras adicionada con HDPE separadas para evitar la pérdida de material de alguna de las muestras.



Figura 179: Recipientes de aluminio con mezclas asfálticas adicionada con HDPE

4. Pasado el tiempo de curado el recipiente de aluminio con las mezclas asfálticas adicionada con HDPE, 3 mezclas asfálticas fueran puestas en el horno a un temperatura de compactacion ( $140 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) para despues poder retirar la mezcla del envase de aluminio y asi poder verterlas en el molde Marshall, poner la muestra en el martillo compactador, terminado el procesor de compactacion por ambos del molde de cada



muestra, se dejara enfriar un tiempo suficiente para poder retirar la muestra con ayuda del eyector, pasado el tiempo se removeran las muestras y estas deben almacenarse a temperatura ambiente por  $24 \pm 3$  horas.



Figura 180: Vertido de mezcla asfáltica adicionada con HDPE en el molde Marshall



Figura 181: Colocado del molde con la muestra en el martillo compactador



Figura 182: Eyección de muestras asfálticas adicionales con HDPE

5. Después de  $24 \pm 3$  horas almacenadas las muestras se dividieron en 2 grupos para el ensayo.
  - Especímenes en condición seca:
6. Las muestras serán ensayadas en esta condición las cuales fueron cubiertas con bolsa a prueba de goteo y después colocadas en baño maría a  $25 \pm 0.5$  °C por un tiempo de 2 horas  $\pm$  10 minutos teniendo la altura de agua como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen.



Figura 183: Muestras asfálticas adicionales con HDPE en Baño María



7. Pasado el tiempo se sacaron las muestras y las bolsas entonces se tomaron las medidas de cada espécimen (altura y diametro), despues se coloco la muestra en el cabezal de rotura diametral para se ensayado con una carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min.
8. Se registro el esfuerzo a compresion maximo de cada espécimen, este debe mostrar un fisura vertical para poder inspeccionar despues de retirar el cabezal la muestra interiormente para poder observar si existen agregados fracturados, se estimo el daño por humedad visualmente en una escala de 0 a 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).



Figura 184: Muestra asfáltica adicionada con HDPE en el cabezal de rotura diametral

- Especimenes en condicion de saturacion parcial y acondicionamiento humedo con un ciclo de congelamiento:
9. Las 3 muestras restantes se sumergiran en agua potable teniendo la altura de agua como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen, el tiempo que debes estar sumergido cada espécimen es de 5 a 10 minutos.



Figura 185: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE sumergidas

10. Después del proceso de sumergido se colocara las muestras en un bolsa plastica que contenga  $10 \pm 0.5$  mil de agua y se cerro la bolsa, para colocarlos en la congeladora a una temperatura de  $-18 \pm 3$  °C por un mínimo de 16 horas.



Figura 186: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE en bolsa plástica.



Figura 187: Muestras asfálticas adicionadas con HDPE en congeladora

11. Después de sacar las muestras de la congeladora se llevó a Baño María a  $60 \pm 1$  °C por un tiempo de  $24 \pm 1$  horas el agua debe cubrir la altura como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen.
12. Paso el tiempo la muestras se colocaran en Baño Maria a  $25 \pm 0.5$  °C por un tiempo de 2 horas  $\pm$  10 minutos, el agua debe cubrir la altura como mínimo de 25 mm de agua por encima de cada espécimen.



Figura 188: Muestras asfálticas adicionas con HDPE en Baño María a 25°C

13. Los especímenes se removieron de Baño María y también del plástico que cubría la muestra, procediendo a medir sus alturas y sus diámetros por muestra, despues se coloco la muestra en el cabezal de rotura diametral para se ensayado con una carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min.



14. Se registro el esfuerzo a compresion maximo de cada especimen, este debe mostrar un fisura vertical para poder inspeccionar despues de retirar el cabezal la muestra interiormente para poder observar si existen agregados fracturados, se estimo el daño por humedad visualmente en una escala de 0 a 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).



Figura 189: Muestra asfáltica adicionada con HDPE en el cabezal de rotura diametral.



Figura 190: Toma de datos de muestra asfáltica adicionada con HDPE



b) Toma de datos

Tabla 231: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE en condición seca

CONDICION SECA			
NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Altura 1	6.40	6.30	6.40
Altura 2	6.20	6.30	6.40
Altura 3	6.20	6.30	6.50
Altura 4	6.30	6.40	6.50
Diámetro 1	10.10	10.20	10.00
Diámetro 2	10.00	10.20	10.00
Diámetro 3	10.00	10.20	10.10
Diámetro 4	10.10	10.20	10.10
CARGA DE ROTURA (N)	7653.41	7789.75	8115.04

Fuente: Propia

Tabla 232: Recolección de datos para mezcla asfáltica compactada al 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE en condición saturada

CONDICION SATURADA			
NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Altura 1	6.4	6.30	6.40
Altura 2	6.50	6.30	6.40
Altura 3	6.50	6.20	6.30
Altura 4	6.5	6.4	6.4
Diámetro 1	10.1	10.2	10
Diámetro 2	10.1	10.2	10
Diámetro 3	10.1	10.2	10
Diámetro 4	10.1	10.3	10
CARGA DE ROTURA (N)	7077.30	7567.30	6672.41

Fuente: Propia





### 3.6 Procedimientos de Análisis de datos

#### 3.6.1 Análisis de Agregado.

##### 3.6.1.1 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso (MTC E 204)

###### a) Cálculos del ensayo

Se calculan los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados, asegurándonos que cumplan con los requerimientos de la gradación MAC-2

Tabla 233: Gradación para mezcla asfáltica en caliente MAC

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

Fuente: (EG, 2013)



Tabla 234: Cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según MAC-2

GRANUMETRIA DE AGREGADO GRUESO															
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	Lim. Infer.	Lim. Super.
1"	25.40							-	-	-	-	-			
3/4"	19.05	-	-	-	-	-	-		-	-	-	2,000.00	100.0%	100.00	100.00
1/2"	12.70	793.00	793.67	823.50	823.67	763.00	763.67	793.67	39.68	793.67	39.68	1,206.33	60.3%	80.00	100.00
3/8"	9.53	510.50	511.17	558.00	558.17	559.00	559.67	543.00	27.15	1,336.67	66.83	663.33	33.2%	70.00	88.00
N°4	4.76	694.50	695.17	618.00	618.17	676.00	676.67	663.33	33.17	2,000.00	100.00	- 0.00	0.0%	51.00	68.00
N°8	2.36														
N°10	2.00													38.00	52.00
N°16	1.18														
N°30	0.60														
N°40	0.42													17.00	28.00
N°50	0.30														
N°80	0.18													8.00	17.00
N°100	0.15														
N°200	0.07													4.00	8.00
Fondo															
<b>TOTAL</b>		1,998.00	2,000.00	1,999.50	2,000.00	1,998.00	2,000.00	2,000.00							

<b>PESO INICIAL 1:</b>	2000	<b>PESO INICIAL 2:</b>	2000	<b>PESO INICIAL 3:</b>	2000
<b>MAT. PERDIDO 1:</b>	2.00	<b>MAT. PERDIDO 2:</b>	0.50	<b>MAT. PERDIDO 3:</b>	2.00
<b>ERROR (%) 1:</b>	0.100%	<b>ERROR (%) 2:</b>	0.025%	<b>ERROR (%) 3:</b>	0.100%
<b>CORRECCION 1:</b>	0.67	<b>CORRECCION 2:</b>	0.17	<b>CORRECCION 3:</b>	0.67

Fuente: Propia



b) Diagramas, tablas

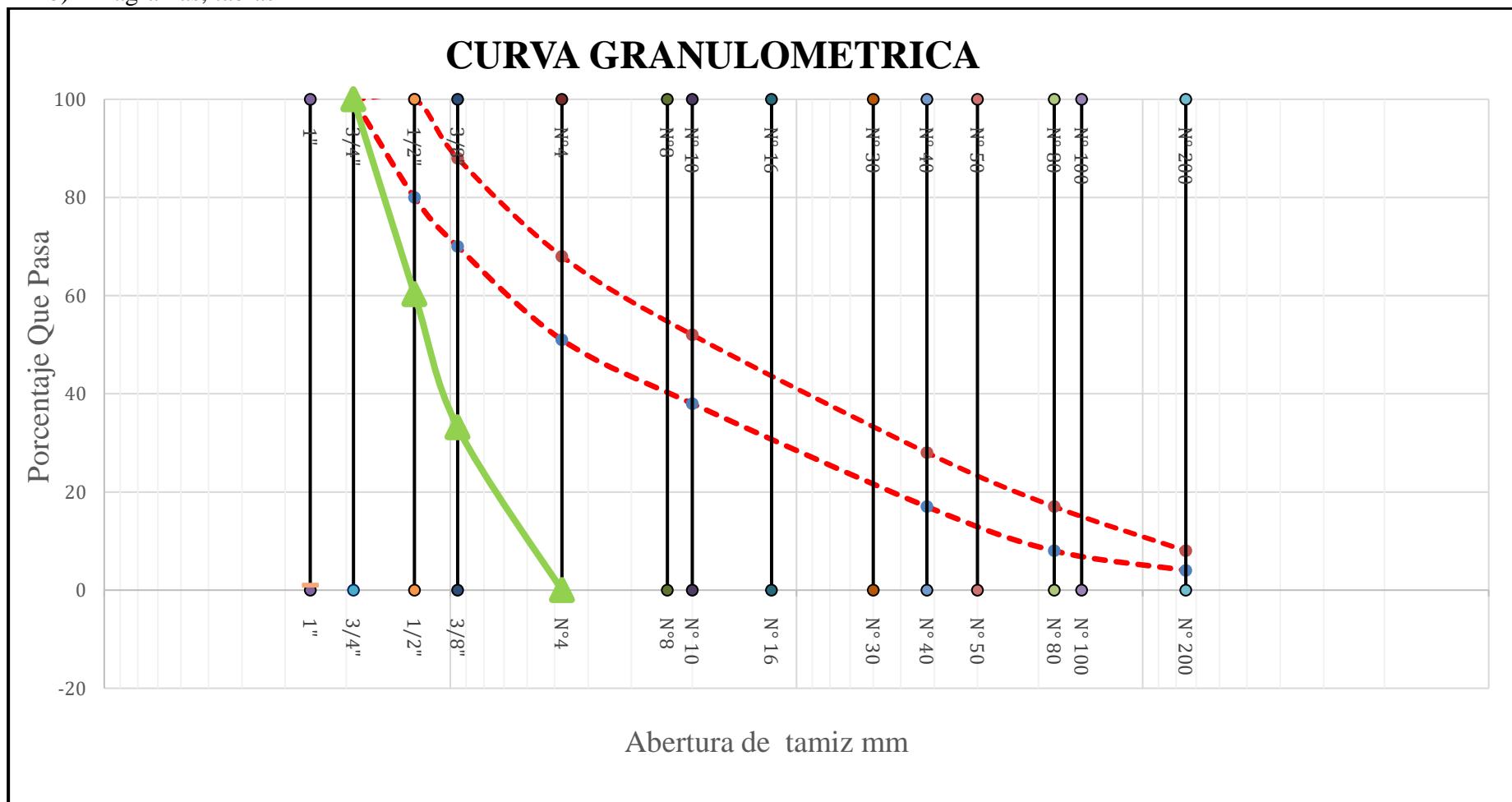


Figura 191: Curva granulométrica del análisis granulométrico del agregado grueso de Morro Blanco según MAC-2

Fuente: Propia



c) Análisis del ensayo

Como se muestra en la curva granulométrica, los porcentajes que pasan del agregado grueso proveniente de la cantera de Morro Blanco, Salvador-Pisac, no cumple con las especificaciones de la gradación para mezcla asfáltica en caliente MAC, dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

3.6.1.2 Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½ “) (MTC E 207)

a) Cálculos de ensayo

El resultado del ensayo de Abrasión se expresará en porcentaje.

$$\% \text{ de Abrasion} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$\% \text{ de Abrasion} = \frac{5000 - 3930}{5000} \times 100$$

$$\% \text{ de Abrasion} = 21.4\%$$

b) Diagramas, tablas

Tabla 235: Resultado del ensayo de Abrasión los ángeles al desgaste

<b>RESULTADOS</b>		
<b>% DESGASTE (% ABRASION)</b>	21.40	%

Fuente: Propia

c) Análisis de ensayo

Tabla 236: Requerimientos para agregado grueso para el ensayo de abrasión los ángeles

<b>ENSAYO - % DE ABRASION</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	35% máximo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos	35% máximo
Resultado del ensayo	21.40%

Fuente: Propia

El resultado del ensayo de abrasión los ángeles al desgaste del agregado grueso en este caso de la cantera de Morro Blanco – San Salvador – Pisac dio como resultado de 21.40% de desgaste cumpliendo con los requerimientos según el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del



Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también cumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010 Pavimentos Urbanos.

### 3.6.1.3 Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos (MTC E 204)

#### a) Cálculos del ensayo

Para determinar el peso específico se realizó el ensayo 3 veces y se utilizaron las siguientes formulas:

- Peso específico de masa bulk (Gsb)

$$Gsb = \left( \frac{A}{B - C} \right)$$

- Peso especifica saturada superficialmente seca (Gsss)

$$Gsss = \left( \frac{B}{B - C} \right)$$

- Peso específico aparente (Gsa)

$$Gsa = \left( \frac{A}{A - C} \right)$$

- Absorción (%)

$$Absorción (\%) = \left( \frac{B - A}{A} \right) * 100$$

Donde:

A=Peso de la muestra seca

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada

#### **Ensayo N°1:**

A=Peso de la muestra seca=2000 gr

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca=2016 gr

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada=1245 gr



- Peso específico de masa bulk (Gsb)

$$Gsb = \left( \frac{2000}{2016 - 1245} \right)$$

$$Gsb = 2.594 \text{ gr/cm}^3$$

- Peso específica saturada superficialmente seca (Gsss)

$$Gsss = \left( \frac{2016}{2016 - 1245} \right)$$

$$Gsss = 2.615 \text{ gr/cm}^3$$

- Peso específico aparente (Gsa)

$$Gsa = \left( \frac{2000}{2000 - 1245} \right)$$

$$Gsa = 2.649 \text{ gr/cm}^3$$

- Absorción (%)

$$\text{Absorción (\%)} = \left( \frac{2016 - 2000}{2000} \right) * 100$$

$$\text{Absorción (\%)} = 0.80\%$$

### Ensayo N°2:

A=Peso de la muestra seca=2000 gr

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca=2020 gr

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada=1233 gr

- Peso específico de masa bulk (Gsb)

$$Gsb = \left( \frac{2000}{2020 - 1233} \right)$$

$$Gsb = 2.541 \text{ gr/cm}^3$$



- Peso específica saturada superficialmente seca (Gsss)

$$G_{sss} = \left( \frac{2020}{2020 - 1233} \right)$$

$$G_{sss} = 2.567 \text{ gr/cm}^3$$

- Peso específico aparente (Gsa)

$$G_{sa} = \left( \frac{2000}{2000 - 1233} \right)$$

$$G_{sa} = 2.608 \text{ gr/cm}^3$$

- Absorción (%)

$$\text{Absorción (\%)} = \left( \frac{2020 - 2000}{2000} \right) * 100$$

$$\text{Absorción (\%)} = 1.00\%$$

### Ensayo N°3:

A=Peso de la muestra seca=2000 gr

B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca=2017 gr

C=Peso sumergido en agua de la muestra saturada=1240 gr

- Peso específico de masa bulk (Gsb)

$$G_{sb} = \left( \frac{2000}{2017 - 1240} \right)$$

$$G_{sb} = 2.574 \text{ gr/cm}^3$$

- Peso específica saturada superficialmente seca (Gsss)

$$G_{sss} = \left( \frac{2017}{2017 - 1240} \right)$$



$$G_{sss} = 2.596 \text{ gr/cm}^3$$

- Peso específico aparente ( $G_{sa}$ )

$$G_{sa} = \left( \frac{2000}{2000 - 1240} \right)$$

$$G_{sa} = 2.632 \text{ gr/cm}^3$$

- Absorción (%)

$$\text{Absorción (\%)} = \left( \frac{2017 - 2000}{2000} \right) * 100$$

$$\text{Absorción (\%)} = 0.85\%$$

b) Diagramas, tablas

Tabla 237: Resultados del ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos

	DESCRIPCION	UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
<b>Gsb</b>	Peso específico de masa bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.594	2.541	2.574	<b>2.570</b>
<b>Gsss</b>	Peso específico de masa saturada con superficie seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.615	2.567	2.596	<b>2.592</b>
<b>Gsa</b>	Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.649	2.608	2.632	<b>2.629</b>
<b>Abs</b>	Absorción	%	0.800	1.000	0.850	<b>0.883</b>

Fuente: Propia.





c) Análisis del ensayo

Tabla 238: Requerimientos para los agregados grueso para pavimento de concreto asfáltico en caliente

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: (EG,2013)

Como resultado del ensayo se obtuvo como promedio 0.883% de absorción, cumpliendo con los requerimientos para agregado grueso dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)

3.6.1.4 Durabilidad al Sulfato de Magnesio de Agregado Grueso (MTC E 209)

a) Cálculos de ensayo

El resultado de este ensayo es el porcentaje de pérdida de peso de cada tamiz retenido en porcentaje.

$$\text{pérdida de peso (gr.)} = \text{peso inicial} - \text{peso final}$$

$$\% \text{ de pérdida de peso (gr.)} = \frac{\text{pérdida de peso (gr.)}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$



b) Diagramas, tablas

Tabla 239: Perdida total del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PERDIDAS DE PESO		GRADACION ORIGINAL	ESCALONADO ORIGINAL	PERDIDAS CORREGIDAS
				Gr.	%			
3/4" - 1/2"	670 ± 10	670.500	629.600	40.900	6.100	793.000	39.690	2.421
1/2" - 3/8"	300 ± 5	300.800	286.000	14.800	4.920	510.500	25.551	1.257
3/8" - N°4	300 ± 5	300.000	260.800	39.200	13.067	694.500	34.760	4.542
				<b>TOTAL</b>		1998.000	100	<b>8.220</b>
<b>RESULTADOS</b>								
		<b>PERDIDA TOTAL</b>		<b>8.220%</b>				

Fuente: Propia

c) Análisis de ensayo

Tabla 240: Requerimientos para durabilidad al sulfato de magnesio de agregado grueso

ENSAYO - % DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	REQUERIMIENTO
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	15% máximo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos (altura > 3000 msnm)	15% máximo
Resultado del ensayo	8.220 %

Fuente: Propia

Para el resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio se usó agregado grueso de la cantera de Morro Blanco – San Salvador – Pisac obteniendo como resultado 8.22% de pérdida total de peso entre los 2 pesos de tamices ya especificados, cumpliendo con el requerimiento indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también cumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010 Pavimentos Urbanos, en ambos casos teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar especificado (mayor a 3000 msnm.).



3.6.1.5 Determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas (MTC E 210)

a) Cálculos del ensayo

Para determinar el porcentaje de partículas fracturadas se utilizaron las siguientes formulas:

$$\%Retenido = \frac{Peso (gr)}{Total (gr)} * 100$$

$$\%Fracturadas = \frac{Fracturadas (gr)}{Peso (gr)} * 100$$

$$Promedio fracturadas = \%Fracturadas * \%Retenido$$

$$\% de una cara fracturada o de dos o mas caras fracturadas = \frac{\sum Promediofracturadas}{\sum \%Retenido}$$

b) Diagramas, tablas

Tabla 241: Resultados del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas para una cara

PARA UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO (gr)	FRACTURADAS (gr)	FRACTURADAS (%)	RETENIDO (%)	PROMEDIO DE FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
3/4"	1/2"	921.50	915.00	99.29	61.80	6136.82
1/2"	3/8"	569.50	538.50	94.56	38.20	3611.67
TOTAL		1491	1453.5		100	9748.49
<b>RESULTADO</b>					97.48%	

Fuente: Propia

Tabla 242: Resultados del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas para dos o más caras

PARA DOS O MÁS CARAS FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO (gr)	FRACTURADAS (gr)	FRACTURADAS (%)	RETENIDO (%)	PROMEDIO DE FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
3/4"	1/2"	921.50	820.30	89.02	61.80	5501.68
1/2"	3/8"	569.50	510.70	89.68	38.20	3425.22
TOTAL		1491	1331		100	8926.89
<b>RESULTADO</b>					86.26%	

Fuente: Propia



c) Análisis del ensayo

Tabla 243: Requerimiento de calidad para el ensayo de porcentaje de caras fracturadas

DESCRIPCION	REQUERIMIENTO
%Partículas fracturadas (Según EG-2013, MTC)	90/70 mínimo

Fuente: Propia

Se obtuvo como resultado del ensayo un % de partículas fracturadas con una cara un 97.40% y 86.26% con dos o más fracturadas, cumpliendo así con los requerimientos para el agregado gruesos dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)

3.6.1.6 Partículas Chatas y Alargadas (MTC E 223)

a) Cálculos de ensayo

El resultado se dará en porcentaje de la sumatoria de las partículas chatas y alargadas

- Partículas Alargadas:

$$\% \text{ IAL} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$\text{IAL} = \frac{(\% \text{ IAL}(1/2'') \times \% \text{ retenido}(1/2'')) + (\% \text{ IAL}(3/8'') \times \% \text{ retenido}(3/8''))}{\% \text{ retenido}(1/2'') + \% \text{ retenido}(3/8'')}$$

$$\% \text{ IAL}(1/2'') = \frac{10.90}{658.70} \times 100 = 1.655\% \quad \% \text{ IAL}(3/8'') = 2.666\%$$

$$\text{IAL} = \frac{(1.655 \times 65.87) + (2.666 \times 34.13)}{65.87 + 34.13} = 2.00$$

- Partículas Chatas:

$$\% \text{ IAP} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$



$$\% \text{ IAP} = \frac{(\% \text{ IAP}(1/2'') \times \% \text{retenido}(1/2'')) + (\% \text{ IAP}(3/8'') \times \% \text{retenido}(3/8''))}{\% \text{retenido}(1/2'') + \% \text{retenido}(3/8'')}$$

$$\% \text{ IAP}(1/2'') = \frac{36.80}{658.70} \times 100 = 5.587\% \quad \% \text{ IAP}(3/8'') = 8.731\%$$

$$\text{IAP} = \frac{(5.587 \times 65.87) + (8.731 \times 34.13)}{65.87 + 34.13} = 6.660$$

Se realizo el mismo procedimiento para cada peso retenido.

- b) Diagramas, tablas
- Partículas Alargadas:

Tabla 244: Calculo del índice de alargamiento

ALARGADAS							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAL
PASA	RETIENE	gr.			gr.	gr.	
3/4"	1/2"	658.70	65.87	126.00	658.70	10.90	<b>1.655</b>
1/2"	3/8"	341.30	34.13	168.00	341.30	9.10	<b>2.666</b>
<b>TOTALES</b>		1000.00	100.00	294.00	1000.00	20.00	<b>4.32</b>
			<b>IAL</b>	<b>2.000</b>			

Fuente: Propia

- Índice de alargamiento de agregado grueso de Morro Blanco: 2.00 %



- Partículas Chatas:

Tabla 245: Calculo del índice de aplanamiento

CHATAS							
TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO	N° DE PIEDRAS	PESO INICIAL	PESO FINAL	% IAP
PASA	RETIENE	gr.			gr.	gr.	
3/4"	1/2"	658.70	65.87	126.00	658.70	36.80	<b>5.587</b>
1/2"	3/8"	341.30	34.13	168.00	341.30	29.80	<b>8.731</b>
<b>TOTALES</b>		1000.00	100.00	294.00	1000.00	66.60	<b>14.318</b>
			<b>IAP</b>	<b>6.660</b>			

Fuente: Propia

- Índice de Aplanamiento de agregado grueso de Morro Blanco: 6.66 %

Tabla 246: Sumatoria de índice de alargamiento y aplanamiento

RESULTADOS		
Índice de alargamiento	Índice de aplanamiento	Partículas chatas y alargadas
2.00%	6.66%	8.66%

Fuente: Propia

c) Análisis de ensayo

Tabla 247: Requerimientos para partículas chatas y alargadas en agregados

ENSAYO - % PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	REQUERIMIENTO
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	10% máximo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos (altura > 3000 msnm)	15% máximo
Resultado del ensayo	8.66%

Fuente: Propia

El resultado del ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados en este caso se uso agregado grueso de la cantera de Morro Blanco – San Salvador – Pisac obteniendo como resultado 8.66% de partículas chatas y alargadas cumpliendo con el requerimiento indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también cumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010



Pavimentos Urbanos, en ambos casos teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar especificado.

### 3.6.1.7 Análisis Granulométrico de Agregado Fino

#### a) Cálculos del ensayo

Se calculan los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados, asegurándonos que cumplan con los requerimientos de la gradación MAC-2



Tabla 248: Cálculo de análisis granulométrico del agregado fino de Morro Blanco según MAC-2

GRANUMETRIA DE AGREGADO FINO - MORRO BLANCO															
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	Lim. Infer.	Lim. Super.
1"	25.40														
3/4"	19.05													100.00	100.00
1/2"	12.70													80.00	100.00
3/8"	9.53							-	-	-	-	-	-	70.00	88.00
Nº4	4.76	272.50	272.68	222.00	222.23	273.00	273.09	256.00	12.80	256.00	12.80	1,744.00	87.2%	51.00	68.00
Nº8	2.36	645.00	645.18	651.50	651.73	640.50	640.59	645.83	32.29	901.83	45.09	1,098.17	54.9%		
Nº10	2	212.00	212.18	216.50	216.73	210.00	210.09	213.00	10.65	1,114.83	55.74	885.17	44.3%	38.00	52.00
Nº16	1.18	236.50	236.68	269.50	269.73	245.50	245.59	250.67	12.53	1,365.50	68.28	634.50	31.7%		
Nº30	0.6	195.00	195.18	219.00	219.23	210.50	210.59	208.33	10.42	1,573.83	78.69	426.17	21.3%		
Nº40	0.42	70.50	70.68	70.50	70.73	69.00	69.09	70.17	3.51	1,644.00	82.20	356.00	17.8%	17.00	28.00
Nº50	0.3	41.00	41.18	41.50	41.73	42.50	42.59	41.83	2.09	1,685.83	84.29	314.17	15.7%		
Nº80	0.18	170.00	170.18	155.50	155.73	160.00	160.09	162.00	8.10	1,847.83	92.39	152.17	7.6%	8.00	17.00
Nº100	0.15	43.00	43.18	52.00	52.23	42.00	42.09	45.83	2.29	1,893.67	94.68	106.33	5.3%		
Nº200	0.07	101.50	101.68	96.00	96.23	102.00	102.09	100.00	5.00	1,993.67	99.68	6.33	0.3%	4.00	8.00
Fondo		11.00	11.18	3.50	3.73	4.00	4.09	6.33	0.32	2,000.00	100.00	-	0.0%		
TOTAL		1,998.00	2,000.00	1,997.50	2,000.00	1,999.00	2,000.00	2,000.00							

PESO INICIAL 1:	2000	PESO INICIAL 2:	2000	PESO INICIAL 3:	2000
MAT. PERDIDO 1:	2.00	MAT. PERDIDO 2:	2.50	MAT. PERDIDO 3:	1.00
ERROR (%) 1:	0.100%	ERROR (%) 2:	0.125%	ERROR (%) 3:	0.0005
CORRECCION 1:	0.18	CORRECCION 2:	0.23	CORRECCION 3:	0.09

Fuente: Propia





Tabla 249: Cálculo de análisis granulométrico del agregado fino de Cunyac según MAC-2

GRANUMETRIA DE AGREGADO FINO - CUNYAC															
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO 1	PESO RETENIDO CORREGIDO 1	PESO RETENIDO 2	PESO RETENIDO CORREGIDO 2	PESO RETENIDO 3	PESO RETENIDO CORREGIDO 3	PROMEDIO PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
ASTM	mm	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	gr	%	gr	%	Lim. Infer.	Lim. Super.
1"	25.40														
3/4"	19.05													100.00	100.00
1/2"	12.70													80.00	100.00
3/8"	9.53							-	-	-	-	-	-	70.00	88.00
N°4	4.76	130.00	130.23	83.00	83.14	138.50	138.59	117.32	5.87	117.32	5.87	1,882.68	94.1%	51.00	68.00
N°8	2.36	156.00	156.23	168.00	168.14	160.00	160.09	161.48	8.07	278.80	13.94	1,721.20	86.1%		
N°10	2	97.00	97.23	107.50	107.64	99.00	99.09	101.32	5.07	380.12	19.01	1,619.88	81.0%	38.00	52.00
N°16	1.18	230.50	230.73	243.00	243.14	220.50	220.59	231.48	11.57	611.61	30.58	1,388.39	69.4%		
N°30	0.6	515.00	515.23	547.50	547.64	528.00	528.09	530.32	26.52	1,141.92	57.10	858.08	42.9%		
N°40	0.42	298.50	298.73	311.00	311.14	301.00	301.09	303.65	15.18	1,445.58	72.28	554.42	27.7%	17.00	28.00
N°50	0.3	145.50	145.73	138.50	138.64	133.00	133.09	139.15	6.96	1,584.73	79.24	415.27	20.8%		
N°80	0.18	285.50	285.73	268.00	268.14	283.00	283.09	278.98	13.95	1,863.71	93.19	136.29	6.8%	8.00	17.00
N°100	0.15	24.50	24.73	26.00	26.14	22.50	22.59	24.48	1.22	1,888.20	94.41	111.80	5.6%		
N°200	0.07	80.50	80.73	75.00	75.14	87.50	87.59	81.15	4.06	1,969.35	98.47	30.65	1.5%	4.00	8.00
Fondo		34.50	34.73	31.00	31.14	26.00	26.09	30.65	1.53	2,000.00	100.00	-	0.0%		
TOTAL		1,997.50	2,000.00	1,998.50	2,000.00	1,999.00	2,000.00	2,000.00							

PESO INICIAL 1:	2000	PESO INICIAL 2:	2000	PESO INICIAL 3:	2000
MAT. PERDIDO 1:	2.50	MAT. PERDIDO 2:	1.50	MAT. PERDIDO 3:	1.00
ERROR (%) 1:	0.125%	ERROR (%) 2:	0.075%	ERROR (%) 3:	0.0005
CORRECCION 1:	0.23	CORRECCION 2:	0.14	CORRECCION 3:	0.091

Fuente: Propia



b) Diagramas, tablas

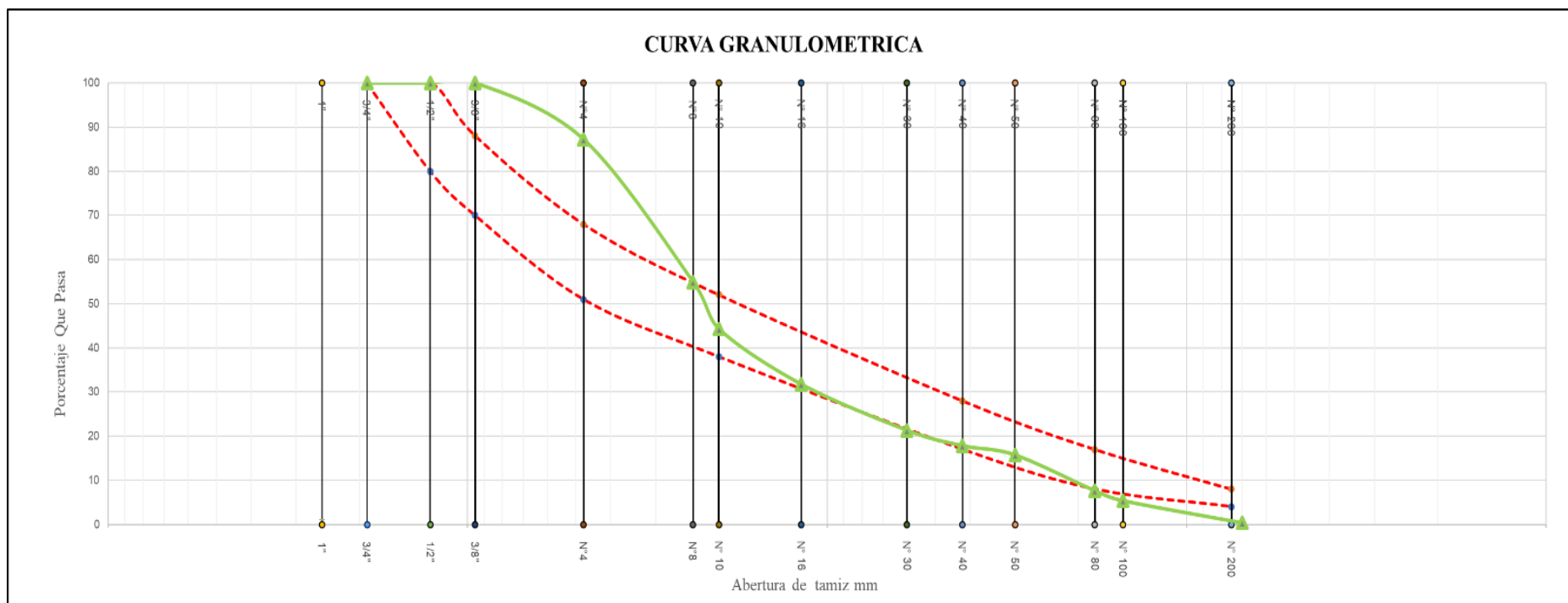


Figura 192: Curva granulométría del agregado fino-Arena triturada de Morro Blanco  
Fuente: Propia

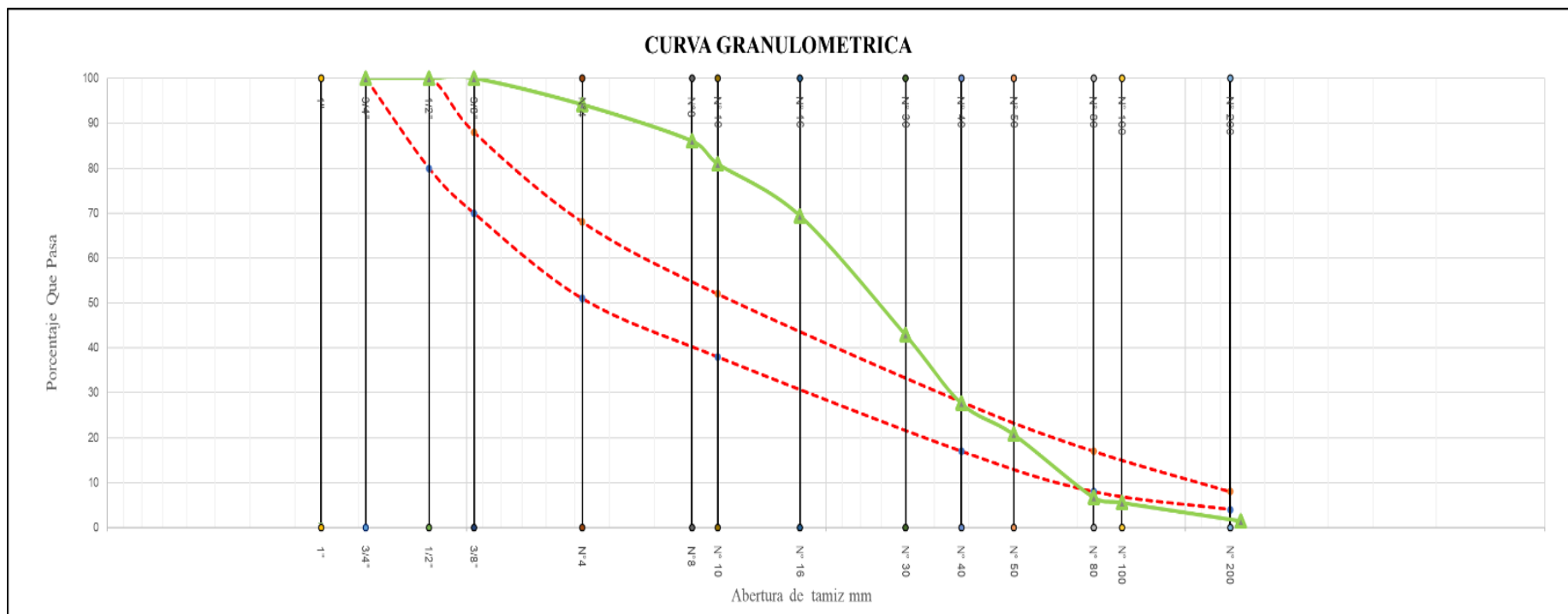


Figura 193: Curva granulométría del agregado fino-Arena natural de Cunyac  
Fuente: Propia



c) Análisis del ensayo

Como se muestra en la curva granulométrica, los porcentajes que pasan tanto de la arena triturada proveniente de Morro Blanco y la arena natural de Cunyac, no cumplen con las especificaciones de la gradación para mezcla asfáltica en caliente MAC, dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)

3.6.1.8 Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos (MTC E 205)

a) Cálculos de ensayo

El ensayo de gravedad específica se realizó para la arena triturada de Morro Blanco – San Salvador – Pisac y para la arena natural de Cunyac, cada ensayo se realizó 3 para cada cantera.

A = Peso de la muestra seca en horno

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

Gravedad específica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb)

$$Gsssb = \frac{D}{B + D - C}$$

Gravedad específica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$$

Absorción:

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



- Ensayo de Gravedad específica y absorción de la arena triturada de Morro Blanco.

**Muestra 1:**

A = Peso de la muestra seca en horno = 490.37 gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 1291.7 gr

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1598.25 gr

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr

Gravedad específica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \frac{490.37}{1291.7 + 500 - 1598.25} = 2.535 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb)

$$Gsssb = \frac{500}{1291.7 + 500 - 1598.25} = 2.585 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = \frac{490.37}{1291.7 + 490.37 - 1598.25} = 2.668 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción:

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{500 - 490.37}{490.37} \right) \times 100 = 1.964\%$$

**Muestra 2:**

A = Peso de la muestra seca en horno = 491.1 gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 1291.75 gr

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1596.75 gr

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr

Gravedad específica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \frac{491.1}{1291.75 + 500 - 1596.75} = 2.518 \text{ gr/cm}^3$$



Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk ( $G_{ssb}$ )

$$G_{ssb} = \frac{500}{1291.75 + 500 - 1596.75} = 2.564 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica seca aparente ( $G_{sa}$ ):

$$G_{sa} = \frac{491.1}{1291.75 + 491.1 - 1596.75} = 2.639 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción:

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{500 - 491.1}{491.1} \right) \times 100 = 1.812 \%$$

### Muestra 3:

A = Peso de la muestra seca en horno = 490.85 gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 1291.73 gr

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1597.66 gr

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr

Gravedad específica seca bulk ( $G_{sb}$ ):

$$G_{sb} = \frac{490.85}{1291.73 + D - 1597.66} = 2.529 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk ( $G_{ssb}$ )

$$G_{ssb} = \frac{500}{1291.73 + 500 - 1597.66} = 2.576 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica seca aparente ( $G_{sa}$ ):

$$G_{sa} = \frac{490.85}{1291.73 + 490.85 - 1597.66} = 2.654 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción:

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{500 - 490.85}{490.85} \right) \times 100 = 1.864\%$$



- Ensayo de Gravedad específica y absorción de la arena natural de Cunyac

**Muestra 1:**

A = Peso de la muestra seca en horno = 490.89 gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 1291.78 gr

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1591.31 gr

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr

Gravedad específica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \frac{490.89}{1291.78 + 500 - 1591.31} = 2.449 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb)

$$Gsssb = \frac{500}{1291.78 + 500 - 1591.31} = 2.494 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad específica seca aparente (Gsa):

$$Gsa = \frac{490.89}{1291.78 + 490.89 - 1591.31} = 2.565 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción:

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{500 - 490.89}{490.89} \right) \times 100 = 1.856 \%$$

**Muestra 2:**

A = Peso de la muestra seca en horno = 490.65 gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 1291.73 gr

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1589.89 gr

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr

Gravedad específica seca bulk (Gsb):

$$Gsb = \frac{490.65}{1291.73 + 500 - 1589.89} = 2.431 \text{ gr/cm}^3$$



Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb)

$$G_{ssb} = \frac{500}{1291.73 + 500 - 1589.89} = 2.477 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$G_{sa} = \frac{490.65}{1291.73 + 490.65 - 1589.89} = 2.549 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción:

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{500 - 490.65}{490.65} \right) \times 100 = 1.906\%$$

### Muestra 3:

A = Peso de la muestra seca en horno = 491.1 gr

B = Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca = 1291.8 gr

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada = 1590.25 gr

D = Peso de la muestra saturada superficialmente seca = 500 gr

Gravedad especifica seca bulk (Gsb):

$$G_{sb} = \frac{491.1}{1291.8 + 500 - 1590.25} = 2.437 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad especifica saturada superficialmente seca Bulk (Gsssb)

$$G_{ssb} = \frac{500}{1291.8 + 500 - 1590.25} = 2.481 \text{ gr/cm}^3$$

Gravedad especifica seca aparente (Gsa):

$$G_{sa} = \frac{491.1}{1291.8 + 491.1 - 1590.25} = 2.549 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción:

$$\text{Absorción \%} = \left( \frac{500 - 491.1}{491.1} \right) \times 100 = 1.812\%$$





b) Diagramas, tablas

Tabla 250: Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la Arena Triturada de Morro Blanco

PESOS	DESCRIPCION		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
Gsb	Gravedad Especifica Bulk	$A/(B+D-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.535	2.518	2.529	<b>2.528</b>
Gsssb	Gravedad Especifica saturada superficialmente seco Bulk	$D/(B+D-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.585	2.564	2.576	<b>2.575</b>
Gsa	Gravedad Especifica Aparente	$A/(B+A-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.668	2.639	2.654	<b>2.654</b>
Abs	Absorción	$((D-A)/A)*100$	%	1.964	1.812	1.864	<b>1.880</b>

Fuente: Propia

Tabla 251: Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la Arena Natural de Cunyac

PESOS	DESCRIPCION		UNIDAD	1	2	3	PROMEDIO
Gsb	Gravedad Especifica Bulk	$A/(B+D-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.449	2.431	2.437	<b>2.439</b>
Gsssb	Gravedad Especifica saturada superficialmente seco Bulk	$D/(B+D-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.494	2.477	2.481	<b>2.484</b>
Gsa	Gravedad Especifica Aparente	$A/(B+A-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.565	2.549	2.549	<b>2.554</b>
Abs	Absorción	$((D-A)/A)*100$	%	1.856	1.906	1.812	<b>1.858</b>

Fuente: Propia

c) Análisis de ensayo

Tabla 252: Requerimientos para ensayo de peso específico y absorción – Arena Triturada de Morro Blanco

ENSAYO - % PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	REQUERIMIENTO
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	0.5% máximo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos (altura > 3000 msnm)	Según Diseño
Resultado del ensayo M.B.	1.880 %

Fuente: Propia



Tabla 253: Requerimientos para ensayo de peso específico y absorción – Arena Natural de Cunyac

ENSAYO - % PESO ESPECIFICO Y ABSORCION	REQUERIMIENTO
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	0.5% máximo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos (altura > 3000 msnm)	Según Diseño
Resultado del ensayo CUNYAC	1.858 %

Fuente: Propia

Para el resultado del ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino de la cantera de Morro Blanco – San Salvador – Pisac obteniendo como resultado 1.880% de absorción , incumpliendo con el requerimiento indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también incumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010 Pavimentos Urbanos, en ambos casos teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar especificado (mayor a 3000 msnm.).

Para el resultado del ensayo de peso específico y absorción para el agregado fino de la cantera de Cunyac obteniendo como resultado 1.858% de absorción, incumpliendo con el requerimiento indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también incumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010 Pavimentos Urbanos, en ambos casos teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar especificado (mayor a 3000 msnm.).

### 3.6.1.9 Determinación del Límite Líquido de los suelos (MTC E110)

- a) Cálculos del ensayo  
No presenta.
- b) Diagramas, tablas  
No presenta.
- c) Análisis del ensayo  
No presenta.



### 3.6.1.10 Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad

#### a) Cálculos del ensayo

No presenta.

Tabla 254: Resultados del ensayo de Limite plástico e índice de plasticidad de los agregados finos

INDICE DE PLASTICIDAD	
DESCRIPCION	RESULTADO
Arena Triturada de Morro Blanco	NP
Arena Natural de Cunyac	NP

Fuente: Propia

#### b) Diagramas, tablas

No presenta.

#### c) Análisis del ensayo

Tabla 255: Requerimiento de calidad para el ensayo de Limite plástico e índice de plasticidad

DESCRIPCION	REQUERIMIENTO
% Índice de plasticidad (Según EG-2013, MTC)	NP

Fuente: Propia

Se obtuvo como resultado del ensayo que los agregados finos (Arena triturada de Morro Blanco y Arena natural de Cunyac) son no plásticos, cumpliendo así con las especificaciones de la gradación para mezcla asfáltica en caliente MAC, dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)



3.6.1.11 Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio de Agregado Fino (MTC E 209)

a) Cálculos del ensayo

- Arena Triturada de Morro Blanco

Tabla 256: Durabilidad al Sulfato de Magnesio - Arena triturada de Morro Blanco

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO DE MORRO BLANCO								
TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		GRADACION ORIGINAL	ESCALORADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)			
3/8"-N°4	100.000	100.082	89.599	10.483	10.474	222.00	15.25249	1.59761
N°4-N°8	100.000	100.015	89.015	11.00	10.998	651.50	44.76125	4.92300
N°8-N°16	100.000	100.046	87.637	12.409	12.403	269.50	18.51597	2.29659
N°16-N°30	100.000	100.089	91.63	8.459	8.451	219.00	15.04638	1.27164
N°30-N°50	100.000	100.079	89.435	10.644	10.636	41.50	2.85125	0.30325
N°50-N°100	100.000	100.073	89.523	10.55	10.542	52.00	3.57266	0.37664
<b>TOTAL</b>						1,455.50	100.00	<b>10.77</b>

Fuente: Propia

- Arena Natural de Cunyac

Tabla 257: Durabilidad al Sulfato de Magnesio - Arena natural de Cunyac

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO FINO DE CUNYAC								
TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDAS DE PESO		GRADACION ORIGINAL	ESCALORADO ORIGINAL	PÉRDIDAS CORREGIDAS
ASTM	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)			
3/8"-N°4	100.000	100.002	93.759	6.243	6.243	130.00	10.820	0.67546
N°4-N°8	100.000	100.038	94.003	6.035	6.033	156.00	12.984	0.78327
N°8-N°16	100.000	100.029	96.965	3.064	3.063	230.50	19.184	0.58763
N°16-N°30	100.000	100.087	93.143	6.944	6.938	515.00	42.863	2.97382
N°30-N°50	100.000	100.560	98.013	2.547	2.533	145.50	12.110	0.30672
N°50-N°100	100.000	100.580	98.280	2.3	2.287	24.50	2.039	0.04662
<b>TOTAL</b>						1,201.50	100.00	<b>5.37</b>

Fuente: Propia



b) Análisis del ensayo

Tabla 258: Requerimiento de calidad para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio de agregado fino

DESCRIPCION	REQUERIMIENTO
%Durabilidad al sulfato de Magnesio (Según EG-2013, MTC)	18% máximo

Fuente: Propia

Como resultado del ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio de la arena triturada de Morro Blanco se obtuvo un 10.77% y de la arena natural de Cunyac un 5.37%, cumpliendo así ambos con los requerimientos para el agregado gruesos dado en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de la Construcción” EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)

3.6.1.12 Método de Ensayo Estándar para el valor de Equivalente de Arena de Agregado Fino (MTC E 114)

a) Cálculos de ensayo

El resultado del ensayo de equivalente de arena da como resultado el porcentaje de equivalente de arena del agregado fino.

H1 = lectura de arena

H2 = lectura de arcilla

$$E. A. = \frac{H1}{H2} \times 100$$

- Procedimiento para ensayo de Equivalente de Arena para Arena Triturada de Morro Blanco

**Muestra 1:**

H1 = lectura de arena = 3.28

H2 = lectura de arcilla = 5.95

$$E. A. = \frac{3.28}{5.95} \times 100$$



$$E. A. = 55.13 \%$$

**Muestra 2:**

$$H1 = \text{lectura de arena} = 3.3$$

$$H2 = \text{lectura de arcilla} = 6.05$$

$$E. A. = \frac{3.3}{6.05} \times 100$$

$$E. A. = 54.55\%$$

**Muestra 3:**

$$H1 = \text{lectura de arena} = 3.3$$

$$H2 = \text{lectura de arcilla} = 5.9$$

$$E. A. = \frac{3.3}{5.9} \times 100$$

$$E. A. = 55.93\%$$

- Procedimiento para ensayo de Equivalente de Arena para Arena Natural de Cunyac

**Muestra 1:**

$$H1 = \text{lectura de arena} = 3.6$$

$$H2 = \text{lectura de arcilla} = 4.55$$

$$E. A. = \frac{3.6}{4.55} \times 100$$

$$E. A. = 79.12\%$$

**Muestra 2:**

$$H1 = \text{lectura de arena} = 3.6$$

$$H2 = \text{lectura de arcilla} = 4.6$$

$$E. A. = \frac{3.6}{4.6} \times 100$$

$$E. A. = 78.26\%$$



**Muestra 3:**

H1 = lectura de arena = 3.7

H2 = lectura de arcilla = 4.6

$$E. A. = \frac{3.7}{4.6} \times 100$$

$$E. A. = 80.43\%$$

b) Diagramas, tablas

Tabla 259: Resultado del ensayo de Equivalente de Arena para Arena Triturada de Morro Blanco

<b>RESULTADOS</b>	
<b>Muestra 1</b>	55.13%
<b>Muestra 2</b>	54.55%
<b>Muestra 3</b>	55.93%
<b>Valor Equivalente de Arena</b>	<b>56.00%</b>

Fuente: Propia

Tabla 260: Resultado del ensayo de Equivalente de Arena para Arena Natural de Cunyac

<b>RESULTADOS</b>	
<b>Muestra 1</b>	79.12%
<b>Muestra 2</b>	78.26%
<b>Muestra 3</b>	80.43%
<b>Valor Equivalente de Arena</b>	<b>80.00%</b>

Fuente: Propia



c) Análisis de ensayo

Tabla 261: Requerimientos para ensayo de equivalente de arena – Arena Triturada de Morro Blanco

ENSAYO - % EQUIVALENTE DE ARENA	REQUERIMIENTO
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	70% mínimo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos	45% mínimo
Resultado del ensayo M.B.	56.00 %

Fuente: Propia

Tabla 262: Requerimientos para ensayo de equivalente de arena – Arena Natural de Cunyac

ENSAYO - % EQUIVALENTE DE ARENA	REQUERIMIENTO
Según EG – 2013 MTC (altura > 3000 msnm)	70% mínimo
Según C.E. 010 Pavimentos Urbanos	45% mínimo
Resultado del ensayo CUNYAC	80.00 %

Fuente: Propia

El resultado del ensayo de equivalente de arena para el agregado fino de la cantera de Morro Blanco – San Salvador – Pisac se obtuvo 56.00%, incumpliendo con el requerimiento indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pero cumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010 Pavimentos Urbanos.

El resultado del ensayo de equivalente de arena para el agregado fino de la cantera de Morro Blanco – San Salvador – Pisac se obtuvo 80.00%, cumpliendo con el requerimiento indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como también cumple con el requerimiento de la normativa C.E. 010 Pavimentos Urbanos.





### 3.6.2 Combinación de Agregados

#### 3.6.2.1 Análisis granulométrico de combinación de agregados

##### a) Cálculos de ensayo

Para la combinación granulométrica de agregados tenemos 2 canteras y 3 agregados (agregado grueso de Morro Blanco – San Salvador – Pisac, Agregado fino de Morro Blanco – San Salvador – Pisac y agregado fino de Cunyac), para el criterio de combinación se tuvo en cuenta la gradación de la MAC 2 teniendo en cuenta los límites que este exige.

##### b) Diagramas, tablas



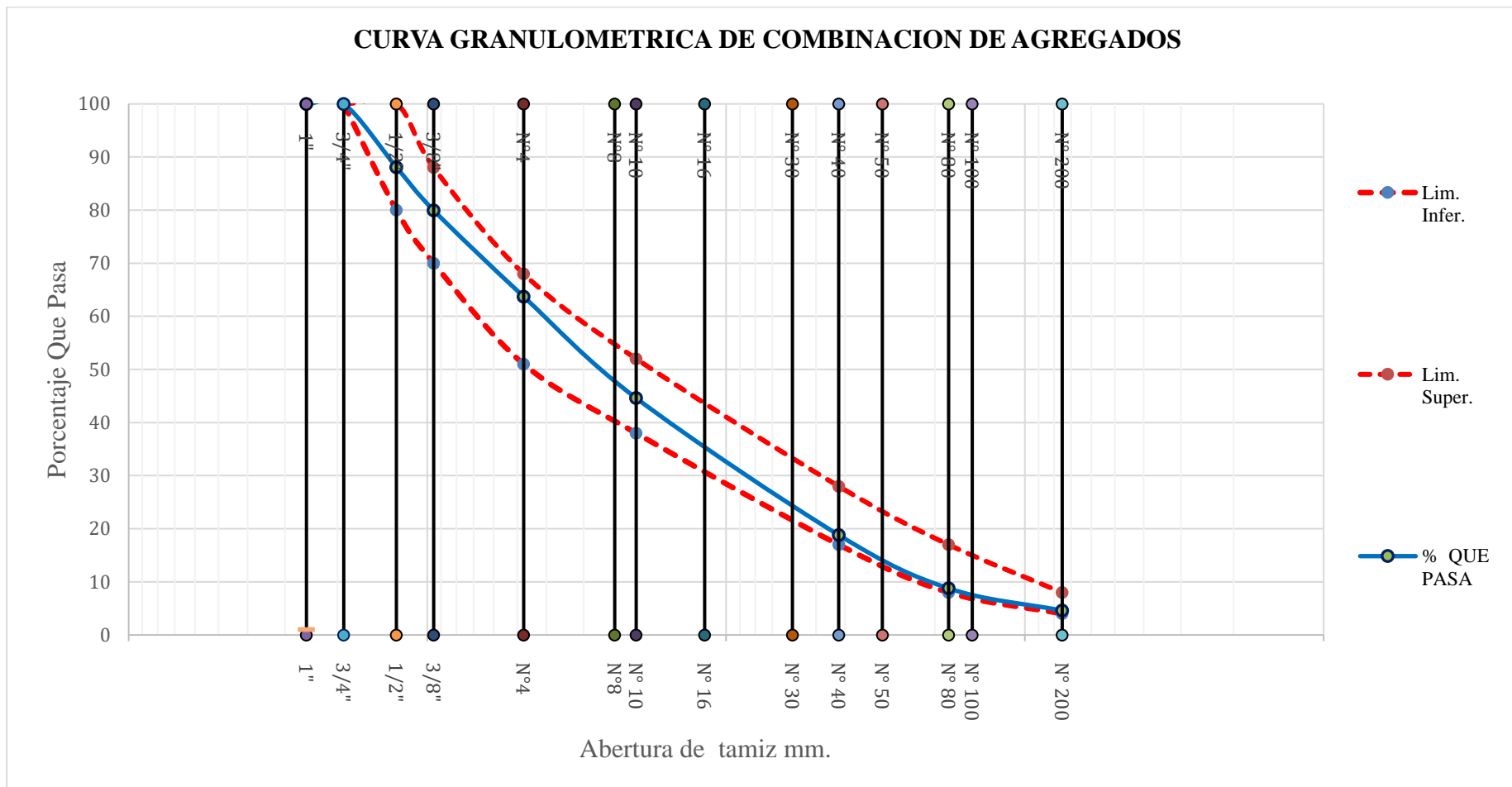
Tabla 263: Combinación Granulométrica de Agregados

GRANULOMETRIA DE LA MEZCLA DE SUELOS													
TAMIZ MALLA N°	ABERTURA M.M	% RET. GRUESO	PESO RETENIDO	% RET.FINO MB	PESO RETENIDO	% RET. CUNYAC	PESO CUNYAC	PESO (FILER)	GRANULOMETRIA COMBINADA			ESPECIFICACION	
									% RET. COMBINADO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	GRADACION - MAC 2	
												Lim. Infer.	Lim. Super.
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	100.000	100	100
1/2"	12.700	39.68	11.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.905	11.905	88.095	80	100
3/8"	9.525	27.15	8.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.145	20.050	79.950	70	88
N°4	4.760	33.17	9.95	12.80	4.48	5.87	1.82	0.00	16.248	36.298	63.702	51	68
N° 10	2.000	0.00	0.00	42.94	15.03	13.14	4.07	0.00	19.103	55.401	44.599	38	52
N° 40	0.420	0.00	0.00	26.46	9.26	53.27	16.51	0.00	25.775	81.176	18.824	17	28
N° 80	0.180	0.00	0.00	10.19	3.57	20.91	6.48	0.00	10.048	91.224	8.776	8	17
N° 200	0.075	0.00	0.00	7.29	2.55	5.28	1.64	0.00	4.189	95.413	4.587	4	8
< # 200		0.00	0.00	0.32	0.11	1.53	0.48	4.00	4.586	99.999	0.001		
<b>Suma Total</b>		<b>100.0</b>	<b>30.0</b>	<b>100.0</b>	<b>35.0</b>	<b>100.0</b>	<b>31.0</b>	<b>4.0</b>	<b>100.0</b>				
<b>PROPORCION DE MEZCLA DE ARIDOS</b>													
		<b>(%) A. GRUESO MB</b>			<b>(%) AF. MB</b>			<b>(%) AF. CUNYAC</b>			<b>(%) FILLER</b>		
		30			35			31			4		

Fuente: Propia



Tabla 264: Combinación Granulométrica de Agregados – Curva Granulométrica



Fuente: Propia



c) Análisis de ensayo

Como vemos en la tabla los porcentajes que pasan como resultado de la combinación de los agregados cumple con los porcentajes de límite superior e inferior que están especificada con la MAC 2 en el Manual de Carreteras EG- 2013 del Ministerio de transportes y Comunicaciones, los porcentajes que pasan están graficados en la curva granulométrica tomando en cuenta los límites de la gradación MAC 2.

3.6.3 Análisis del Cemento Asfáltico

3.6.3.1 Penetración de los Materiales Bituminosos (MTC E 304)

a) Cálculos de ensayo

Se realizó 3 veces el ensayo para así obtener un promedio

b) Diagramas, tablas

Tabla 265: Resultados del ensayo de penetración de materiales bituminosos

<b>PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS</b>			
<b>TEMPERATURA DE MATERIAL</b>	<b>25 °C</b>		
<b>MUESTRA 1</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>
<b>PENETRACION</b>	98.00	99.00	100.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>99.00</b>		
<b>MUESTRA 1</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>
<b>PENETRACION</b>	97.50	99.00	100.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>98.83</b>		
<b>MUESTRA 1</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>
<b>PENETRACION</b>	92.5	96	96
<b>PROMEDIO</b>	<b>94.83</b>		
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>VALOR DE PENETRACIÓN FINAL</b>	<b>97.56</b>		

Fuente: Propia

c) Análisis de ensayo

Tabla 266: Máxima diferencia entre la penetración más alta y la más baja

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

Fuente: Manual de Materiales, 2016.



De acuerdo a la normativa MTC E 304, los valores no deben diferir por más de 4 puntos ya que nuestro cemento asfáltico es PEN 85/100, por lo cual cumple con la condición.

### 3.6.4 Diseño de especímenes Marshall

#### 3.6.4.1 Dosificación de mezclas asfálticas convencionales.

1. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 4% de cemento asfáltico.
  - a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 267: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 4%CA	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	403.20	33.60%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	357.12	29.76%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	345.60	28.80%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	46.08	3.84%
ASFALTO PEN 85/100	4.00%	48.00	4.00%

Fuente: Propia

- b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 268: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	Pesos por Tamiz			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	137.15	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	93.83	0.00
#4	4.75	51.61	20.95	114.62	0.00
#10	2.00	173.14	46.93	0.00	0.00
#40	0.420	106.68	190.25	0.00	0.00
#80	0.180	41.09	74.66	0.00	0.00
#200	0.074	29.40	18.86	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.28	5.47	0.00	46.08

Fuente: Propia



2. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 4.5% de cemento asfáltico.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 269: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 4.5%CA	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	401.10	33.43%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	355.26	29.61%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	343.80	28.65%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	45.84	3.82%
ASFALTO PEN 85/100	4.50%	54.00	4.50%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 270: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	Pesos por Tamiz			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	136.43	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	93.34	0.00
#4	4.75	51.34	20.84	114.03	0.00
#10	2.00	172.24	46.68	0.00	0.00
#40	0.420	106.12	189.26	0.00	0.00
#80	0.180	40.88	74.27	0.00	0.00
#200	0.074	29.25	18.76	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.27	5.44	0.00	45.84

Fuente: Propia



3. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 5% de cemento asfáltico.  
a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 271: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 5 de cemento asfáltico

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 5%CA	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	399.00	33.25%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	353.40	29.45%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	342.00	28.50%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	45.60	3.80%
ASFALTO PEN 85/100	5.00%	60.00	5.00%

Fuente: Propia

- b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 272: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	Pesos por Tamiz			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	135.72	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	92.85	0.00
#4	4.75	51.07	20.73	113.43	0.00
#10	2.00	171.34	46.44	0.00	0.00
#40	0.420	105.57	188.27	0.00	0.00
#80	0.180	40.66	73.88	0.00	0.00
#200	0.074	29.09	18.67	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.26	5.42	0.00	45.60

Fuente: Propia



4. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 5.5% de cemento asfáltico.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 273: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 5.5%CA	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	396.90	33.08%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	351.54	29.30%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	340.20	28.35%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	45.36	3.78%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 274: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	Pesos por Tamiz			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	135.00	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	92.36	0.00
#4	4.75	50.80	20.62	112.83	0.00
#10	2.00	170.44	46.19	0.00	0.00
#40	0.420	105.01	187.27	0.00	0.00
#80	0.180	40.45	73.50	0.00	0.00
#200	0.074	28.94	18.57	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.26	5.39	0.00	45.36

Fuente: Propia





5. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 6% de cemento asfáltico.  
a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 275: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6%CA	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	394.80	32.90%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	349.68	29.14%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	338.40	28.20%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	45.12	3.76%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%

Fuente: Propia

- b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 276: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	Pesos por Tamiz			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	134.29	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	91.88	0.00
#4	4.75	50.53	20.51	112.24	0.00
#10	2.00	169.53	45.95	0.00	0.00
#40	0.420	104.46	186.28	0.00	0.00
#80	0.180	40.24	73.11	0.00	0.00
#200	0.074	28.79	18.47	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.25	5.36	0.00	45.12

Fuente: Propia



6. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 6.5% de cemento asfáltico.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 277: Dosificación de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.5%CA	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	392.70	32.73%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	347.82	28.99%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	336.60	28.05%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.88	3.74%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 278: Pesos por tamices de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	Pesos por Tamiz			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	133.57	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	91.39	0.00
#4	4.75	50.27	20.40	111.64	0.00
#10	2.00	168.63	45.70	0.00	0.00
#40	0.420	103.90	185.29	0.00	0.00
#80	0.180	40.02	72.72	0.00	0.00
#200	0.074	28.63	18.37	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.24	5.33	0.00	44.88

Fuente: Propia



### 3.6.4.2 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales

- Gravedad específica bulk (Gmb): Se utilizo la siguiente formula.

$$Gmb = \frac{Wd}{W_{ssd} - W_{sum.}}$$

- Gravedad específica teórica máxima Rice (Gmm): Se utilizaron las siguientes formulas.

- Gsb = gravedad específica bulk
- Gsa = gravedad específica aparente
- $A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$ , para Agregado Grueso
- $B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$ , para Agregado Fino
- $C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}$ , para Filler

$$Gmm = \frac{100}{\frac{\%asfalto}{G_{sa} \text{ asfalto}} + \frac{\%grueso}{A} + \frac{\%fino}{B} + \frac{\%filler}{C}}$$

- Porcentaje de vacíos total de la mezcla asfáltica (VTM): Se utilizaron las siguientes formulas.

$$VTM = \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm}\right) \times 100$$

- Porcentaje de vacíos del agregado mineral de la mezcla asfáltica (VMA): Se utilizaron las siguientes formulas.

- Pb = contenido de asfalto por peso de la mezcla.

$$VMA = \left(1 - \frac{Gmb(1 - Pb)}{Gsb}\right) \times 100$$

- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto de la mezcla asfáltica (VFA): Se utilizaron las siguientes formulas.

$$VFA = \left(\frac{VMA - VTM}{VMA}\right) \times 100$$



1. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales con 4% de cemento asfáltico

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 279: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 4.00%	1194.80	1202.80	609.50	2.01
2 - 4.00%	1193.80	1206.00	613.80	2.02
3 - 4.00%	1193.10	1204.50	618.60	2.04
4 - 4.00%	1194.20	1201.00	617.80	2.05
5 - 4.00%	1194.20	1204.60	620.80	2.05
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.03</b>

Fuente: Propia

Tabla 280: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	Gmm
1 - 4.00%	4.0	2.37
2 - 4.00%	4.0	2.37
3 - 4.00%	4.0	2.37
4 - 4.00%	4.0	2.37
5 - 4.00%	4.0	2.37

Fuente: Propia

Tabla 281: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 4.00%	4.0	15.19	23.09	34.21
2 - 4.00%	4.0	14.77	22.71	34.95
3 - 4.00%	4.0	13.92	21.94	36.56
4 - 4.00%	4.0	13.50	21.56	37.38
5 - 4.00%	4.0	13.50	21.56	37.38
<b>PROMEDIO</b>		<b>14.18</b>	<b>22.17</b>	<b>36.10</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 282: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 4.00%	4.0	2.726	2.573	2.509	CORRECTO
2 - 4.00%	4.0	2.726	2.573	2.509	CORRECTO
3 - 4.00%	4.0	2.726	2.573	2.509	CORRECTO
4 - 4.00%	4.0	2.726	2.573	2.509	CORRECTO
5 - 4.00%	4.0	2.726	2.573	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia

2. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales con 4.5% de cemento asfáltico

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 283: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 4.50%	1192.00	1195.10	621.00	2.08
2 - 4.50%	1198.40	1202.60	624.00	2.07
3 - 4.50%	1194.10	1199.60	624.90	2.08
4 - 4.50%	1196.70	1200.30	624.50	2.08
5 - 4.50%	1198.30	1202.80	622.30	2.06
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.07</b>

Fuente: Propia

Tabla 284: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	Gmm
1 - 4.50%	4.5	2.34
2 - 4.50%	4.5	2.34
3 - 4.50%	4.5	2.34
4 - 4.50%	4.5	2.34
5 - 4.50%	4.5	2.34

Fuente: Propia



Tabla 285: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 4.50%	4.5	11.11	20.83	46.65
2 - 4.50%	4.5	11.54	21.21	45.58
3 - 4.50%	4.5	11.11	20.83	46.65
4 - 4.50%	4.5	11.11	20.83	46.65
5 - 4.50%	4.5	11.97	21.59	44.55
<b>PROMEDIO</b>		<b>11.37</b>	<b>21.05</b>	<b>46.02</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 286: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 4.50%	4.5	2.726	2.558	2.509	CORRECTO
2 - 4.50%	4.5	2.726	2.558	2.509	CORRECTO
3 - 4.50%	4.5	2.726	2.558	2.509	CORRECTO
4 - 4.50%	4.5	2.726	2.558	2.509	CORRECTO
5 - 4.50%	4.5	2.726	2.558	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia

3. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales con 5% de cemento asfáltico

a) Cálculo de parámetros volumétricos.



Tabla 287: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfaltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.00%	1198.30	1200.00	628.30	2.1
2 - 5.00%	1199.70	1201.10	632.60	2.11
3 - 5.00%	1196.80	1200.60	625.80	2.08
4 - 5.00%	1200.90	1203.10	628.80	2.09
5 - 5.00%	1196.90	1200.20	627.10	2.09
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.09</b>

Fuente: Propia

Tabla 288: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfaltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	Gmm
1 - 5.00%	5	2.32
2 - 5.00%	5	2.32
3 - 5.00%	5	2.32
4 - 5.00%	5	2.32
5 - 5.00%	5	2.32

Fuente: Propia

Tabla 289: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfaltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 5.00%	5	9.48	20.48	53.72
2 - 5.00%	5	9.05	20.10	54.98
3 - 5.00%	5	10.34	21.24	51.32
4 - 5.00%	5	9.91	20.86	52.50
5 - 5.00%	5	9.91	20.86	52.50
<b>PROMEDIO</b>		<b>9.74</b>	<b>20.71</b>	<b>53.00</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 290: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 5.00%	5	2.726	2.553	2.509	CORRECTO
2 - 5.00%	5	2.726	2.553	2.509	CORRECTO
3 - 5.00%	5	2.726	2.553	2.509	CORRECTO
4 - 5.00%	5	2.726	2.553	2.509	CORRECTO
5 - 5.00%	5	2.726	2.553	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia

4. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales con 5.5% de cemento asfáltico

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 291: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.50%	1191.30	1194.70	636.50	2.13
2 - 5.50%	1196.50	1198.70	639.40	2.14
3 - 5.50%	1190.20	1192.60	632.00	2.12
4 - 5.50%	1200.10	1202.70	643.90	2.15
5 - 5.50%	1205.40	1207.50	644.00	2.14
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.14</b>

Fuente: Propia

Tabla 292: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	Gmm
1 - 5.50%	5.5	2.29
2 - 5.50%	5.5	2.29
3 - 5.50%	5.5	2.29
4 - 5.50%	5.5	2.29
5 - 5.50%	5.5	2.29





Fuente: Propia

Tabla 293: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 5.50%	5.50	6.99	19.77	64.65
2 - 5.50%	5.50	6.55	19.39	66.23
3 - 5.50%	5.50	7.42	20.15	63.17
4 - 5.50%	5.50	6.11	19.02	67.87
5 - 5.50%	5.50	6.55	19.39	66.23
<b>PROMEDIO</b>		<b>6.72</b>	<b>19.54</b>	<b>65.63</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 294: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 5.50%	5.5	2.726	2.536	2.509	CORRECTO
2 - 5.50%	5.5	2.726	2.536	2.509	CORRECTO
3 - 5.50%	5.5	2.726	2.536	2.509	CORRECTO
4 - 5.50%	5.5	2.726	2.536	2.509	CORRECTO
5 - 5.50%	5.5	2.726	2.536	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia

5. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales con 6% de cemento asfáltico

a) Cálculo de parámetros volumétricos.



Tabla 295: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.00%	1190.60	1192.40	641.10	2.16
2 - 6.00%	1201.50	1202.50	649.10	2.17
3 - 6.00%	1182.90	1184.10	641.80	2.18
4 - 6.00%	1194.20	1196.00	640.60	2.15
5 - 6.00%	1186.10	1187.30	638.80	2.16
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.16</b>

Fuente: Propia

Tabla 296: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	Gmm
1 - 6.00%	6	2.27
2 - 6.00%	6	2.27
3 - 6.00%	6	2.27
4 - 6.00%	6	2.27
5 - 6.00%	6	2.27

Fuente: Propia

Tabla 297: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.00%	6.00	4.85	19.07	65.57
2 - 6.00%	6.00	4.41	18.70	69.41
3 - 6.00%	6.00	3.96	18.32	68.39
4 - 6.00%	6.00	5.29	19.45	72.80
5 - 6.00%	6.00	4.85	19.07	69.57
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.67</b>	<b>18.92</b>	<b>69.15</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 298: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.00%	6	2.726	2.530	2.509	CORRECTO
2 - 6.00%	6	2.726	2.530	2.509	CORRECTO
3 - 6.00%	6	2.726	2.530	2.509	CORRECTO
4 - 6.00%	6	2.726	2.530	2.509	CORRECTO
5 - 6.00%	6	2.726	2.530	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia

6. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencionales con 6.5% de cemento asfáltico

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 299: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.50%	1185.10	1189.40	622.00	2.09
2 - 6.50%	1184.60	1185.40	641.00	2.18
3 - 6.50%	1190.30	1191.90	637.70	2.15
4 - 6.50%	1188.80	1189.20	644.60	2.18
5 - 6.50%	1195.70	1196.30	647.20	2.18
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.16</b>

Fuente: Propia

Tabla 300: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	Gmm
1 - 6.50%	6.5	2.24
2 - 6.50%	6.5	2.24
3 - 6.50%	6.5	2.24
4 - 6.50%	6.5	2.24
5 - 6.50%	6.5	2.24

Fuente: Propia



Tabla 301: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.50%	6.50	6.70	22.11	69.70
2 - 6.50%	6.50	2.68	18.76	75.71
3 - 6.50%	6.50	4.02	19.87	79.77
4 - 6.50%	6.50	2.68	18.76	75.71
5 - 6.50%	6.50	2.68	18.76	85.71
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.75</b>	<b>19.65</b>	<b>77.32</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 302: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.50%	6.5	2.726	2.511	2.509	CORRECTO
2 - 6.50%	6.5	2.726	2.511	2.509	CORRECTO
3 - 6.50%	6.5	2.726	2.511	2.509	CORRECTO
4 - 6.50%	6.5	2.726	2.511	2.509	CORRECTO
5 - 6.50%	6.5	2.726	2.511	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia



### 3.6.4.3 Análisis de ensayo de flujo y estabilidad de mezclas asfálticas convencionales

1. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales con 4% de cemento asfáltico

Tabla 303: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4 % de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (4%)	3.46
MUESTRA 2 (4%)	3.19
MUESTRA 3 (4%)	3.00
MUESTRA 4 (4%)	3.21
MUESTRA 5 (4%)	3.15
<b>Promedio</b>	<b>3.20</b>

Fuente: Propia

Tabla 304: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (4%)	6.54	1326.88	0.95389	1265.70
MUESTRA 2 (4%)	6.74	1397.59	0.90924	1270.75
MUESTRA 3 (4%)	6.58	1328.58	0.94468	1255.08
MUESTRA 4 (4%)	6.53	1353.48	0.95622	1294.22
MUESTRA 5 (4%)	6.59	1385.81	0.94240	1305.99
<b>Promedio</b>				<b>1278.35</b>

Fuente: Propia



Tabla 305: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (4%)	1265.70	3.46	3658.09
MUESTRA 2 (4%)	1270.75	3.19	3979.80
MUESTRA 3 (4%)	1255.08	3.00	4180.81
MUESTRA 4 (4%)	1294.22	3.21	4028.07
MUESTRA 5 (4%)	1305.99	3.15	4149.95
<b>Promedio</b>	<b>1278.35</b>	<b>3.20</b>	<b>3999.35</b>
<b>Condición 1700-4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

2. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales con 4.5% de cemento asfáltico

Tabla 306: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (4.5%)	3.10
MUESTRA 2 (4.5%)	3.20
MUESTRA 3 (4.5%)	3.46
MUESTRA 4 (4.5%)	3.30
MUESTRA 5 (4.5%)	3.40
<b>Promedio</b>	<b>3.29</b>

Fuente: Propia



Tabla 307: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (4.5%)	6.53	1365.71	0.95622	1305.92
MUESTRA 2 (4.5%)	6.44	1302.57	0.97755	1273.33
MUESTRA 3 (4.5%)	6.44	1369.11	0.97755	1338.37
MUESTRA 4 (4.5%)	6.46	1286.58	0.97275	1251.52
MUESTRA 5 (4.5%)	6.50	1270.60	0.96325	1223.91
<b>Promedio</b>				<b>1278.61</b>

Fuente: Propia

Tabla 308: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 4.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (4.5%)	1305.92	3.10	4208.57
MUESTRA 2 (4.5%)	1273.33	3.20	3979.16
MUESTRA 3 (4.5%)	1338.37	3.46	3868.12
MUESTRA 4 (4.5%)	1251.52	3.30	3789.04
MUESTRA 5 (4.5%)	1223.91	3.40	3603.98
<b>Promedio</b>	<b>1278.61</b>	<b>3.29</b>	<b>3889.77</b>
<b>Condición 1700-4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

3. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales con 5% de cemento asfáltico



Tabla 309: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5%)	3.43
MUESTRA 2 (5%)	3.23
MUESTRA 3 (5%)	3.23
MUESTRA 4 (5%)	3.38
MUESTRA 5 (5%)	3.32
<b>Promedio</b>	<b>3.32</b>

Fuente: Propia

Tabla 310: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (5%)	6.46	1450.68	0.97275	1411.14
MUESTRA 2 (5%)	6.43	1303.09	0.97997	1276.98
MUESTRA 3 (5%)	6.53	1399.59	0.95622	1338.32
MUESTRA 4 (5%)	6.46	1291.92	0.97275	1256.71
MUESTRA 5 (5%)	6.43	1136.23	0.97997	1113.46
<b>Promedio</b>				<b>1279.32</b>

Fuente: Propia

Tabla 311: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (5%)	1411.14	3.43	4117.71
MUESTRA 2 (5%)	1276.98	3.23	3953.50
MUESTRA 3 (5%)	1338.32	3.23	4144.69
MUESTRA 4 (5%)	1256.71	3.38	3722.48
MUESTRA 5 (5%)	1113.46	3.32	3352.79
<b>Promedio</b>	<b>1279.32</b>	<b>3.32</b>	<b>3858.23</b>
<b>Condición 1700-4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia





4. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales con 5.5% de cemento asfáltico

Tabla 312: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (5.5%)	3.44
MUESTRA 2 (5.5%)	3.26
MUESTRA 3 (5.5%)	3.49
MUESTRA 4 (5.5%)	3.40
MUESTRA 5 (5.5%)	3.39
<b>Promedio</b>	<b>3.40</b>

Fuente: Propia

Tabla 313: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (5.5%)	6.36	1375.46	0.99712	1371.50
MUESTRA 2 (5.5%)	6.49	1251.54	0.96561	1208.50
MUESTRA 3 (5.5%)	6.38	1289.03	0.99217	1342.72
MUESTRA 4 (5.5%)	6.44	1096.90	0.97755	1072.27
MUESTRA 5 (5.5%)	6.55	1402.22	0.95158	1334.31
<b>Promedio</b>				<b>1265.86</b>

Fuente: Propia



Tabla 314: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 5.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (5.5%)	1371.50	3.44	3986.92
MUESTRA 2 (5.5%)	1208.50	3.26	3707.06
MUESTRA 3 (5.5%)	1342.72	3.49	3847.34
MUESTRA 4 (5.5%)	1072.27	3.40	3150.03
MUESTRA 5 (5.5%)	1334.31	3.39	3932.54
<b>Promedio</b>	<b>1265.86</b>	<b>3.40</b>	<b>3724.78</b>
<b>Condición 1700-4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

5. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales con 6% de cemento asfáltico

Tabla 315: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6%)	3.48
MUESTRA 2 (6%)	3.40
MUESTRA 3 (6%)	3.41
MUESTRA 4 (6%)	3.37
MUESTRA 5 (6%)	3.38
<b>Promedio</b>	<b>3.41</b>

Fuente: Propia



Tabla 316: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6%)	6.48	1213.45	0.96798	1174.60
MUESTRA 2 (6%)	6.48	1284.30	0.96798	1243.18
MUESTRA 3 (6%)	6.40	1292.94	0.98726	1276.47
MUESTRA 4 (6%)	6.29	1228.65	1.01471	1246.71
MUESTRA 5 (6%)	6.43	1350.86	0.97997	1323.79
<b>Promedio</b>				<b>1252.95</b>

Fuente: Propia

Tabla 317: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6%)	1174.60	3.48	3375.29
MUESTRA 2 (6%)	1243.18	3.40	3656.41
MUESTRA 3 (6%)	1276.47	3.41	3743.31
MUESTRA 4 (6%)	1246.71	3.37	3699.44
MUESTRA 5 (6%)	1323.79	3.38	3916.54
<b>Promedio</b>	<b>1252.95</b>	<b>3.41</b>	<b>3678.20</b>
<b>Condición 1700-4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

- Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas convencionales con 6.5% de cemento asfáltico



Tabla 318: Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.5%)	3.43
MUESTRA 2 (6.5%)	3.46
MUESTRA 3 (6.5%)	3.54
MUESTRA 4 (6.5%)	3.55
MUESTRA 5 (6.5%)	3.52
<b>Promedio</b>	<b>3.50</b>

Fuente: Propia

Tabla 319: Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.5%)	6.69	1248.71	0.92007	1148.90
MUESTRA 2 (6.5%)	6.34	1231.36	1.00210	1233.94
MUESTRA 3 (6.5%)	6.48	1267.88	0.96798	1227.28
MUESTRA 4 (6.5%)	6.34	1197.15	1.00210	1199.67
MUESTRA 5 (6.5%)	6.24	1223.99	1.02753	1257.69
<b>Promedio</b>				<b>1213.50</b>

Fuente: Propia

Tabla 320: Estabilidad - Flujo Marshall de la mezcla asfáltica convencional con 6.5% de cemento asfáltico

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.5%)	1148.90	3.43	3347.61
MUESTRA 2 (6.5%)	1233.94	3.46	3566.30
MUESTRA 3 (6.5%)	1227.28	3.54	3466.89
MUESTRA 4 (6.5%)	1199.67	3.55	3379.35
MUESTRA 5 (6.5%)	1257.69	3.52	3572.98
<b>Promedio</b>	<b>1213.50</b>	<b>3.50</b>	<b>3466.63</b>
<b>Condición 1700-4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



### Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.

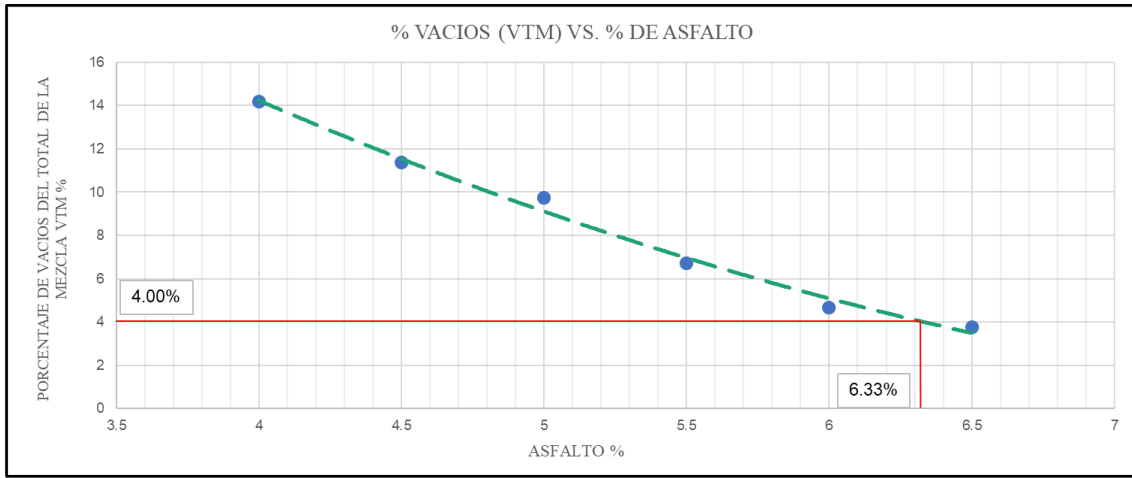


Figura 194: Contenido óptimo según porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica 4.00%

Fuente: Propia

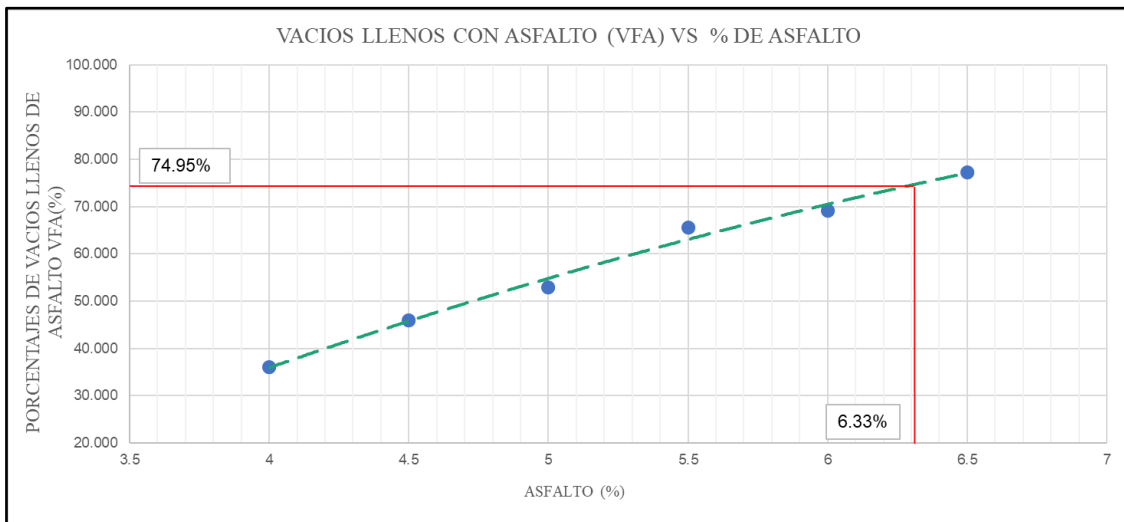


Figura 195: Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para el contenido óptimo de asfalto 6.33%

Fuente: Propia

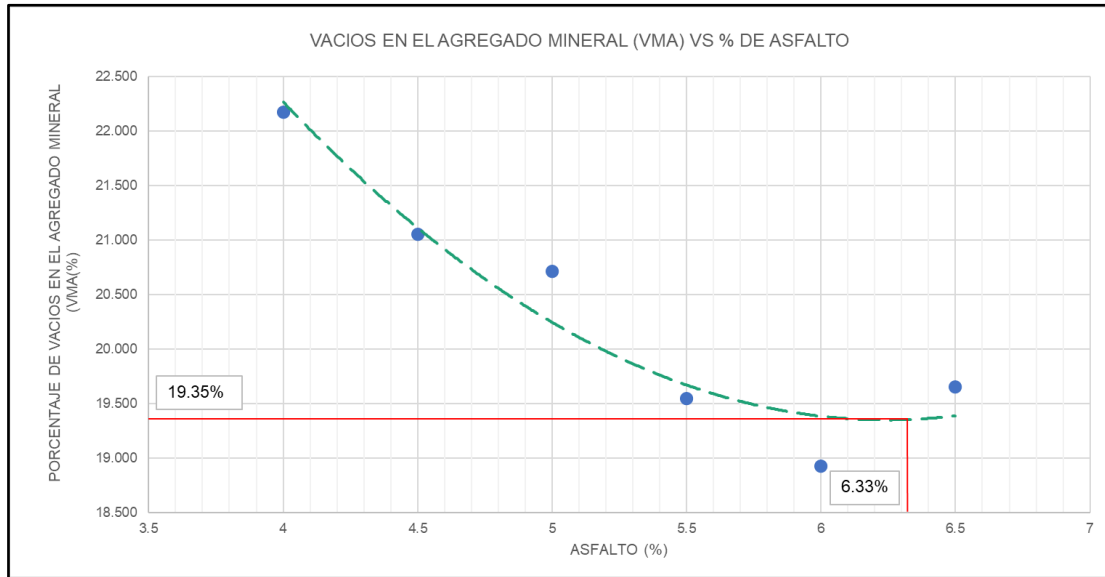


Figura 196: Valor del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para el contenido óptimo de asfalto 6.33%

Fuente: Propia

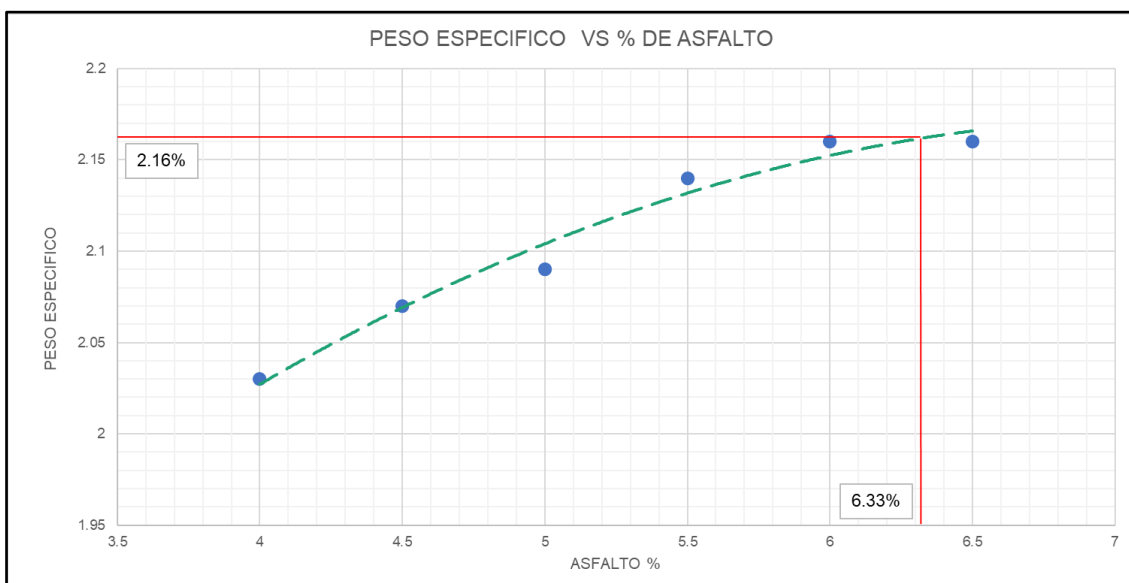


Figura 197: Valor del peso específico para el contenido óptimo de asfalto 6.33%

Fuente: Propia

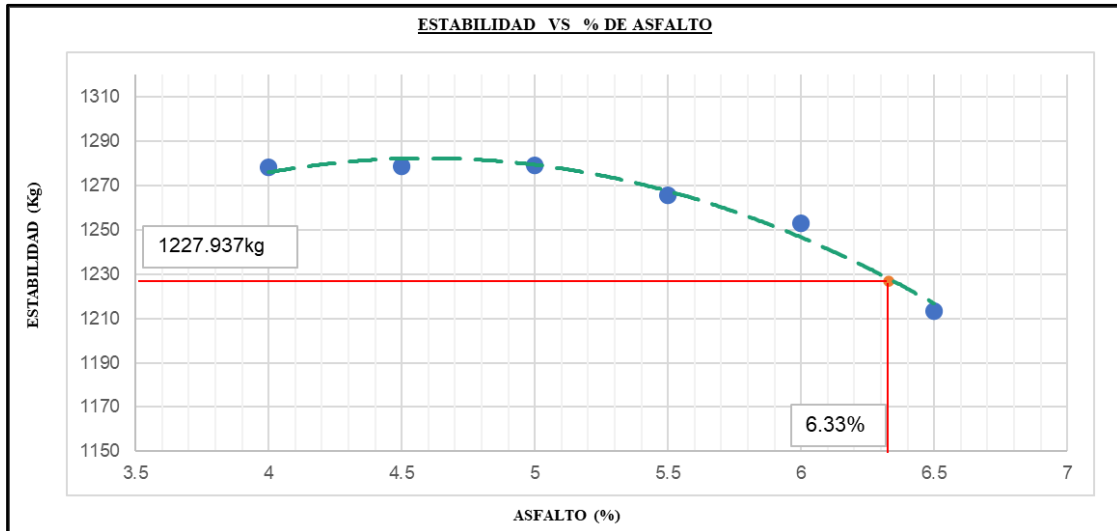


Figura 198: Valor de la Estabilidad para el contenido óptimo de asfalto del 6.33%

Fuente: Propia

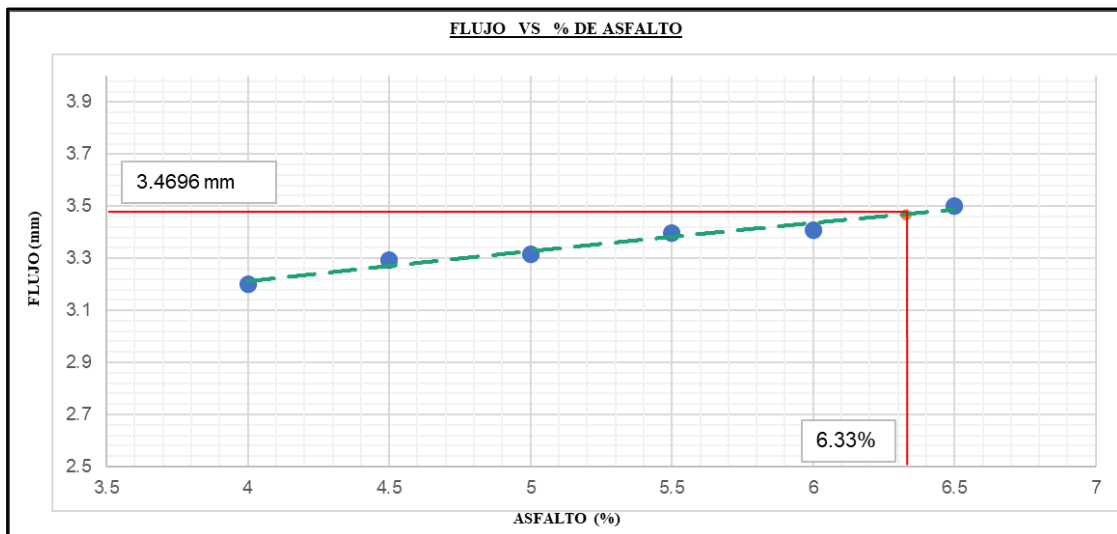


Figura 199: Valor de la Flujo para el contenido óptimo de asfalto del 6.33%

Fuente: Propia

#### 3.6.4.4 Análisis del ensayo de resistencia al daño inducido por humedad de mezclas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico.

a) Cálculo del ensayo



Para el cálculo se utilizó las siguientes formulas:

St = Esfuerzo a la tensión KPa

P = Carga máxima (N)

T = Espesor del espécimen (mm)

D = Diámetro del espécimen (mm)

$$St = \frac{200 \times P}{3.141592 \times t \times D}$$

S1 = Promedio del esfuerzo a la tensión de la condición seca KPa

S2 = Promedio del esfuerzo a la tensión de la condición saturada KPa

$$\text{Razon del Esfuerzo a Tension (TSR)} = \frac{S2}{S1}$$

b) Diagramas, tablas

Tabla 321: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto con 6.33% en condición seca:

CONDICION SECA			
NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Altura 1	6.20	6.30	6.50
Altura 2	6.30	6.30	6.50
Altura 3	6.30	6.20	6.50
Altura 4	6.30	6.20	6.50
Promedio Altura mm	62.75	62.50	65.00
Diámetro 1	10.00	10.20	10.10
Diámetro 2	10.00	10.20	10.00
Diámetro 3	10.10	10.20	10.10
Diámetro 4	10.00	10.20	10.00
Promedio diámetro mm	100.25	102.00	100.50
CARGA DE ROTURA (N)	7486.50	8059.12	8130.67
TRACCION INDIRECTA (Kpa)	75.76	80.48	79.24
PROMEDIO TRACCION INDIRECTA	78.49		

Fuente: Propia

Tabla 322: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto con 6.33% en condición saturada





<b>CONDICION SATURADA</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
<b>Altura 1</b>	6.10	6.30	6.40
<b>Altura 2</b>	6.20	6.30	6.40
<b>Altura 3</b>	6.20	6.30	6.40
<b>Altura 4</b>	6.20	6.20	6.40
<b>Promedio Altura mm</b>	61.75	62.75	64.00
<b>Diámetro 1</b>	10.20	10.00	10.00
<b>Diámetro 2</b>	10.30	10.10	10.00
<b>Diámetro 3</b>	10.20	10.10	10.00
<b>Diámetro 4</b>	10.30	10.00	10.10
<b>Promedio diámetro mm</b>	102.50	100.50	100.25
<b>CARGA DE ROTURA (N)</b>	6787.27	6351.89	6744.11
<b>TRACCION INDIRECTA (Kpa)</b>	68.27	64.12	66.92
<b>PROMEDIO TRACCION INDIRECTA</b>	<b>66.44</b>		

Fuente: Propia

Tabla 323: Resultado del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión.

<b>RESULTADOS – TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
<b>Condición Seca</b>	<b>Condición Saturada</b>	<b>TSR %</b>
78.49	66.44	84.64%

Fuente: Propia

c) Análisis del ensayo

Tabla 324: Resultado del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión.

<b>ENSAYO - % TRACCIÓN INDIRECTA</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>
Según EG – 2013 MTC	80% mínimo
Resultado del ensayo	84.64%

Fuente: Propia

El resultado del ensayo de resistencia al daño inducido por humedad determinada a través de TSR de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto del 6.33%, cumple con el requerimiento según el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones



### 3.6.5 Diseño de mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE)

#### 3.6.5.1 Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con 1% de HDPE.
  - a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 325: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.33%CA + 1%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	389.21	32.43%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	344.73	28.73%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	333.61	27.80%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.48	3.71%
ASFALTO PEN 85/100	6.33%	75.96	6.33%
HDPE	1.00%	12.00	1.00%

Fuente: Propia

- b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 326: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 1% de HDPE

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	PESOS POR TAMIZ			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	132.39	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	90.58	0.00
#4	4.75	49.82	20.22	110.65	0.00
#10	2.00	167.13	45.30	0.00	0.00
#40	0.420	102.98	183.65	0.00	0.00
#80	0.180	39.67	72.07	0.00	0.00
#200	0.074	28.38	18.21	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.23	5.28	0.00	44.48

Fuente: Propia



2. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con 2% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 327: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 2% de HDPE

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.33%CA + 2%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	385.01	32.08%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	341.01	28.42%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	330.01	27.50%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.00	3.67%
ASFALTO PEN 85/100	6.33%	75.96	6.33%
HDPE	2.00%	24.00	2.00%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 328: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 2% de HDPE

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	PESOS POR TAMIZ			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	130.96	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	89.60	0.00
#4	4.75	49.28	20.00	109.45	0.00
#10	2.00	165.33	44.81	0.00	0.00
#40	0.420	101.87	181.67	0.00	0.00
#80	0.180	39.24	71.29	0.00	0.00
#200	0.074	28.07	18.01	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.22	5.23	0.00	44.00

Fuente: Propia



3. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con 3% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 329: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 3% de HDPE

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.33%CA + 3%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	380.81	31.73%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	337.29	28.11%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	326.41	27.20%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.52	3.63%
ASFALTO PEN 85/100	6.33%	75.96	6.33%
HDPE	3.00%	36.00	3.00%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 330: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 3% de HDPE

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	PESOS POR TAMIZ			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	129.53	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	88.62	0.00
#4	4.75	48.74	19.79	108.26	0.00
#10	2.00	163.53	44.32	0.00	0.00
#40	0.420	100.76	179.68	0.00	0.00
#80	0.180	38.81	70.52	0.00	0.00
#200	0.074	27.77	17.82	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.21	5.17	0.00	43.52

Fuente: Propia



4. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con 4% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 331: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 4% de HDPE

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.33%CA + 4%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	376.61	31.38%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	333.57	27.80%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	322.81	26.90%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.04	3.59%
ASFALTO PEN 85/100	6.33%	75.96	6.33%
HDPE	4.00%	48.00	4.00%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 332: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 4% de HDPE

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	PESOS POR TAMIZ			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	128.10	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	87.64	0.00
#4	4.75	48.21	19.57	107.07	0.00
#10	2.00	161.72	43.83	0.00	0.00
#40	0.420	99.65	177.70	0.00	0.00
#80	0.180	38.38	69.74	0.00	0.00
#200	0.074	27.46	17.62	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.19	5.11	0.00	43.04

Fuente: Propia



5. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con 5% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 333: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 5% de HDPE

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.33%CA + 5%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	372.41	31.03%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	329.85	27.49%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	319.21	26.60%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.56	3.55%
ASFALTO PEN 85/100	6.33%	75.96	6.33%
HDPE	5.00%	60.00	5.00%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 334: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 5% de HDPE

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	PESOS POR TAMIZ			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	126.67	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	86.67	0.00
#4	4.75	47.67	19.35	105.87	0.00
#10	2.00	159.92	43.34	0.00	0.00
#40	0.420	98.53	175.72	0.00	0.00
#80	0.180	37.96	68.96	0.00	0.00
#200	0.074	27.16	17.42	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.18	5.06	0.00	42.56

Fuente: Propia



6. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto de 6.33%, adicionada con 6% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 335: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 6% de HDPE

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.33%CA + 6%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	368.21	30.68%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	326.13	27.18%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	315.61	26.30%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.08	3.51%
ASFALTO PEN 85/100	6.33%	75.96	6.33%
HDPE	6.00%	72.00	6.00%

Fuente: Propia

b) Cálculo de la dosificación de agregados por tamices

Tabla 336: Pesos por tamices de mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto adicionada con 6% de HDPE

TAMIZ	Apertura del tamiz (mm)	PESOS POR TAMIZ			
		MB fino (gr)	Cunyac (gr)	MB grueso (gr)	Filler (gr)
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	125.25	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	85.69	0.00
#4	4.75	47.13	19.13	104.68	0.00
#10	2.00	158.12	42.85	0.00	0.00
#40	0.420	97.42	173.74	0.00	0.00
#80	0.180	37.53	68.18	0.00	0.00
#200	0.074	26.85	17.23	0.00	0.00
Fondo	0.010	1.17	5.00	0.00	42.08

Fuente: Propia



3.6.5.2 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con HDPE

1. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE
  - a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 337: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.33% - 1%HDPE	1183.70	1184.30	626.10	2.12
2 - 6.33% - 1%HDPE	1192.80	1193.30	625.50	2.1
3 - 6.33% - 1%HDPE	1176.70	1177.10	626.80	2.14
4 - 6.33% - 1%HDPE	1180.60	1181.90	624.90	2.12
5 - 6.33% - 1%HDPE	1182.20	1182.90	627.30	2.13
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.12</b>

Fuente: Propia

Tabla 338: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	%	Gmm
1 - 6.33% - 1%HDPE	6.3	1.00	2.22
2 - 6.33% - 1%HDPE	6.3	1.00	2.22
3 - 6.33% - 1%HDPE	6.3	1.00	2.22
4 - 6.33% - 1%HDPE	6.3	1.00	2.22
5 - 6.33% - 1%HDPE	6.3	1.00	2.22

Fuente: Propia





Tabla 339: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.33% - 1%HDPE	1.00	4.50	16.35	72.47
2 - 6.33% - 1%HDPE	1.00	5.41	17.13	68.43
3 - 6.33% - 1%HDPE	1.00	3.60	15.56	76.86
4 - 6.33% - 1%HDPE	1.00	4.50	16.35	72.47
5 - 6.33% - 1%HDPE	1.00	4.05	15.95	74.61
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.41</b>	<b>16.27</b>	<b>72.97</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 340: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.33% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.519	2.509	CORRECTO
2 - 6.33% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.519	2.509	CORRECTO
3 - 6.33% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.519	2.509	CORRECTO
4 - 6.33% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.519	2.509	CORRECTO
5 - 6.33% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.519	2.509	CORRECTO

Fuente: Propia

2. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 2% de HDPE

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 341: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 2% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.33% - 2%HDPE	1187.70	1188.40	618.40	2.08
2 - 6.33% - 2%HDPE	1189.40	1189.70	619.60	2.09
3 - 6.33% - 2%HDPE	1178.70	1180.20	614.20	2.08
4 - 6.33% - 2%HDPE	1188.00	1188.90	618.20	2.08
5 - 6.33% - 2%HDPE	1186.50	1187.30	617.90	2.08
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.08</b>

Fuente: Propia

Tabla 342: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	%	Gmm
1 - 6.33% - 2%HDPE	6.3	2.00	2.18
2 - 6.33% - 2%HDPE	6.3	2.00	2.18
3 - 6.33% - 2%HDPE	6.3	2.00	2.18
4 - 6.33% - 2%HDPE	6.3	2.00	2.18
5 - 6.33% - 2%HDPE	6.3	2.00	2.18

Fuente: Propia

Tabla 343: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.33% - 2%HDPE	2.00	4.59	18.75	75.52
2 - 6.33% - 2%HDPE	2.00	4.13	18.36	77.51
3 - 6.33% - 2%HDPE	2.00	4.59	18.75	75.52
4 - 6.33% - 2%HDPE	2.00	4.59	18.75	75.52
5 - 6.33% - 2%HDPE	2.00	4.59	18.75	75.52
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.50</b>	<b>18.67</b>	<b>75.92</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 344: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.33% - 2%HDPE	2	2.726	2.469	2.509	INCORRECTO
2 - 6.33% - 2%HDPE	2	2.726	2.469	2.509	INCORRECTO
3 - 6.33% - 2%HDPE	2	2.726	2.469	2.509	INCORRECTO
4 - 6.33% - 2%HDPE	2	2.726	2.469	2.509	INCORRECTO
5 - 6.33% - 2%HDPE	2	2.726	2.469	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia

3. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 345: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.33% - 3%HDPE	1184.70	1185.50	614.00	2.07
2 - 6.33% - 3%HDPE	1190.80	1193.30	595.80	1.99
3 - 6.33% - 3%HDPE	1185.00	1186.10	608.00	2.05
4 - 6.33% - 3%HDPE	1186.30	1187.10	613.20	2.07
5 - 6.33% - 3%HDPE	1183.80	1184.90	610.50	2.06
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.05</b>

Fuente: Propia

Tabla 346: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	%	Gmm
1 - 6.33% - 3%HDPE	6.3	3.00	2.15
2 - 6.33% - 3%HDPE	6.3	3.00	2.15
3 - 6.33% - 3%HDPE	6.3	3.00	2.15
4 - 6.33% - 3%HDPE	6.3	3.00	2.15
5 - 6.33% - 3%HDPE	6.3	3.00	2.15

Fuente: Propia



Tabla 347: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.33% - 3%HDPE	3.00	3.72	19.97	81.37
2 - 6.33% - 3%HDPE	3.00	7.44	23.06	67.74
3 - 6.33% - 3%HDPE	3.00	4.65	20.74	77.58
4 - 6.33% - 3%HDPE	3.00	3.72	19.97	81.37
5 - 6.33% - 3%HDPE	3.00	4.19	20.35	79.42
PROMEDIO		<b>4.74</b>	<b>20.82</b>	<b>77.50</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 348: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.33% - 3%HDPE	3	2.726	2.431	2.509	INCORRECTO
2 - 6.33% - 3%HDPE	3	2.726	2.431	2.509	INCORRECTO
3 - 6.33% - 3%HDPE	3	2.726	2.431	2.509	INCORRECTO
4 - 6.33% - 3%HDPE	3	2.726	2.431	2.509	INCORRECTO
5 - 6.33% - 3%HDPE	3	2.726	2.431	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia

4. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 4% de HDPE

a) Cálculo de parámetros volumétricos.



Tabla 349: Gravedad específica bulk de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 4% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.33% - 4%HDPE	1187.30	1188.40	600.90	2.02
2 - 6.33% - 4%HDPE	1193.40	1195.00	605.00	2.02
3 - 6.33% - 4%HDPE	1185.00	1191.70	609.50	2.04
4 - 6.33% - 4%HDPE	1189.20	1190.90	608.10	2.04
5 - 6.33% - 4%HDPE	1190.30	1191.40	606.20	2.03
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.03</b>

Fuente: Propia

Tabla 350: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	%	Gmm
1 - 6.33% - 4%HDPE	6.3	4.00	2.12
2 - 6.33% - 4%HDPE	6.3	4.00	2.12
3 - 6.33% - 4%HDPE	6.3	4.00	2.12
4 - 6.33% - 4%HDPE	6.3	4.00	2.12
5 - 6.33% - 4%HDPE	6.3	4.00	2.12

Fuente: Propia

Tabla 351: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.33% - 4%HDPE	4.00	4.72	22.71	79.21
2 - 6.33% - 4%HDPE	4.00	4.72	22.71	79.21
3 - 6.33% - 4%HDPE	4.00	3.77	21.94	82.82
4 - 6.33% - 4%HDPE	4.00	3.77	21.94	82.82
5 - 6.33% - 4%HDPE	4.00	4.25	22.32	80.96
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.25</b>	<b>22.32</b>	<b>81.00</b>

Fuente: Propia



a) Verificación de gravedades

Tabla 352: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.33% - 4%HDPE	4	2.726	2.394	2.509	INCORRECTO
2 - 6.33% - 4%HDPE	4	2.726	2.394	2.509	INCORRECTO
3 - 6.33% - 4%HDPE	4	2.726	2.394	2.509	INCORRECTO
4 - 6.33% - 4%HDPE	4	2.726	2.394	2.509	INCORRECTO
5 - 6.33% - 4%HDPE	4	2.726	2.394	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia

5. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 5% de HDPE

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 353: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 5% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.33% - 5%HDPE	1192.00	1200.70	577.20	1.91
2 - 6.33% - 5%HDPE	1191.30	1196.30	590.70	1.97
3 - 6.33% - 5%HDPE	1199.00	1204.50	595.90	1.97
4 - 6.33% - 5%HDPE	1190.60	1192.20	585.60	1.96
5 - 6.33% - 5%HDPE	1193.20	1194.10	579.40	1.94
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.95</b>

Fuente: Propia



Tabla 354: Gravedad específica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	%	Gmm
1 - 6.33% - 5%HDPE	6.3	5.00	2.09
2 - 6.33% - 5%HDPE	6.3	5.00	2.09
3 - 6.33% - 5%HDPE	6.3	5.00	2.09
4 - 6.33% - 5%HDPE	6.3	5.00	2.09
5 - 6.33% - 5%HDPE	6.3	5.00	2.09

Fuente: Propia

Tabla 355: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.33% - 5%HDPE	5.00	8.61	27.68	68.89
2 - 6.33% - 5%HDPE	5.00	5.74	25.40	77.41
3 - 6.33% - 5%HDPE	5.00	5.74	25.40	77.41
4 - 6.33% - 5%HDPE	5.00	6.22	25.78	75.88
5 - 6.33% - 5%HDPE	5.00	7.18	26.54	72.95
PROMEDIO		<b>6.70</b>	<b>26.16</b>	<b>74.51</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 356: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.33% - 5%HDPE	5	2.726	2.356	2.509	INCORRECTO
2 - 6.33% - 5%HDPE	5	2.726	2.356	2.509	INCORRECTO
3 - 6.33% - 5%HDPE	5	2.726	2.356	2.509	INCORRECTO
4 - 6.33% - 5%HDPE	5	2.726	2.356	2.509	INCORRECTO
5 - 6.33% - 5%HDPE	5	2.726	2.356	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



6. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 6% de HDPE

a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 357: Gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 6% de HDPE

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.33% - 6%HDPE	1193.80	1198.60	570.80	1.9
2 - 6.33% - 6%HDPE	1194.90	1201.00	572.70	1.9
3 - 6.33% - 6%HDPE	1185.90	1189.90	570.80	1.92
4 - 6.33% - 6%HDPE	1190.60	1191.90	571.60	1.92
5 - 6.33% - 6%HDPE	1192.40	1193.60	569.80	1.91
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.91</b>

Fuente: Propia

Tabla 358: Gravedad especifica teórica máxima Rice de mezcla asfáltica con contenido optimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
PROBETA	%	%	Gmm
1 - 6.33% - 6%HDPE	6.3	6.00	2.06
2 - 6.33% - 6%HDPE	6.3	6.00	2.06
3 - 6.33% - 6%HDPE	6.3	6.00	2.06
4 - 6.33% - 6%HDPE	6.3	6.00	2.06
5 - 6.33% - 6%HDPE	6.3	6.00	2.06

Fuente: Propia





Tabla 359: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.33% - 6%HDPE	6.00	7.77	28.81	73.03
2 - 6.33% - 6%HDPE	6.00	7.77	28.81	73.03
3 - 6.33% - 6%HDPE	6.00	6.80	28.06	75.77
4 - 6.33% - 6%HDPE	6.00	6.80	28.06	75.77
5 - 6.33% - 6%HDPE	6.00	7.28	28.44	74.40
PROMEDIO		<b>7.28</b>	<b>28.44</b>	<b>74.40</b>

Fuente: Propia

b) Verificación de gravedades

Tabla 360: Verificación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.33% - 6%HDPE	6	2.726	2.319	2.509	INCORRECTO
2 - 6.33% - 6%HDPE	6	2.726	2.319	2.509	INCORRECTO
3 - 6.33% - 6%HDPE	6	2.726	2.319	2.509	INCORRECTO
4 - 6.33% - 6%HDPE	6	2.726	2.319	2.509	INCORRECTO
5 - 6.33% - 6%HDPE	6	2.726	2.319	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia

3.6.5.3 Análisis de ensayo de Flujo y Estabilidad de mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con HDPE

1. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionada con 1% de HDPE



Tabla 361: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 1%)	3.78
MUESTRA 2 (6.33% - 1%)	3.87
MUESTRA 3 (6.33% - 1%)	3.72
MUESTRA 4 (6.33% - 1%)	3.70
MUESTRA 5 (6.33% - 1%)	3.62
<b>Promedio</b>	<b>3.74</b>

Fuente: Propia

Tabla 362: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.33% - 1%)	6.26	1424.18	1.02374	1457.99
MUESTRA 2 (6.33% - 1%)	6.50	1366.64	0.96345	1316.69
MUESTRA 3 (6.33% - 1%)	6.38	1388.34	0.99279	1378.33
MUESTRA 4 (6.33% - 1%)	6.39	1345.85	0.99028	1332.77
MUESTRA 5 (6.33% - 1%)	6.25	1322.32	1.02639	1357.21
<b>Promedio</b>				<b>1368.60</b>

Fuente: Propia



Tabla 363: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 1% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.33% - 1%)	1457.99	3.78	3855.08
MUESTRA 2 (6.33% - 1%)	1316.69	3.87	3400.54
MUESTRA 3 (6.33% - 1%)	1378.33	3.72	3705.19
MUESTRA 4 (6.33% - 1%)	1332.77	3.70	3600.14
MUESTRA 5 (6.33% - 1%)	1357.21	3.62	3747.13
<b>Promedio</b>	<b>1368.60</b>	<b>3.74</b>	<b>3661.61</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

2. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE

Tabla 364: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 2%)	4.22
MUESTRA 2 (6.33% - 2%)	3.68
MUESTRA 3 (6.33% - 2%)	4.00
MUESTRA 4 (6.33% - 2%)	4.12
MUESTRA 5 (6.33% - 2%)	3.72
<b>Promedio</b>	<b>3.95</b>

Fuente: Propia



Tabla 365: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.33% - 2%)	6.58	1495.14	0.94478	1412.58
MUESTRA 2 (6.33% - 2%)	6.36	1424.58	0.99784	1421.49
MUESTRA 3 (6.33% - 2%)	6.38	1387.98	0.99279	1377.97
MUESTRA 4 (6.33% - 2%)	6.25	1305.57	1.02639	1340.02
MUESTRA 5 (6.33% - 2%)	6.40	1360.99	0.98779	1344.37
<b>Promedio</b>				<b>1379.29</b>

Fuente: Propia

Tabla 366: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 2% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.33% - 2%)	1412.58	4.22	3344.97
MUESTRA 2 (6.33% - 2%)	1421.49	3.68	3865.90
MUESTRA 3 (6.33% - 2%)	1377.97	4.00	3447.51
MUESTRA 4 (6.33% - 2%)	1340.02	4.12	3250.11
MUESTRA 5 (6.33% - 2%)	1344.37	3.72	3610.99
<b>Promedio</b>	<b>1379.29</b>	<b>3.95</b>	<b>3503.89</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



3. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

Tabla 367: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 3%)	3.41
MUESTRA 2 (6.33% - 3%)	4.51
MUESTRA 3 (6.33% - 3%)	4.46
MUESTRA 4 (6.33% - 3%)	4.42
MUESTRA 5 (6.33% - 3%)	4.51
<b>Promedio</b>	<b>4.26</b>

Fuente: Propia

Tabla 368: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.33% - 3%)	6.46	1395.96	0.97305	1358.34
MUESTRA 2 (6.33% - 3%)	6.93	1580.65	0.87151	1289.96
MUESTRA 3 (6.33% - 3%)	6.78	1376.60	0.90124	1240.65
MUESTRA 4 (6.33% - 3%)	6.49	1556.27	0.96583	1503.10
MUESTRA 5 (6.33% - 3%)	6.45	1579.00	0.97548	1540.28
<b>Promedio</b>				<b>1386.47</b>

Fuente: Propia



Tabla 369: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.33% - 3%)	1358.34	3.41	3983.40
MUESTRA 2 (6.33% - 3%)	1289.96	4.51	2858.96
MUESTRA 3 (6.33% - 3%)	1240.65	4.46	2781.10
MUESTRA 4 (6.33% - 3%)	1503.10	4.42	3398.37
MUESTRA 5 (6.33% - 3%)	1540.28	4.51	3418.29
<b>Promedio</b>	<b>1386.47</b>	<b>4.26</b>	<b>3288.02</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

4. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE

Tabla 370: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 4%)	4.48
MUESTRA 2 (6.33% - 4%)	4.41
MUESTRA 3 (6.33% - 4%)	4.21
MUESTRA 4 (6.33% - 4%)	4.37
MUESTRA 5 (6.33% - 4%)	4.55
<b>Promedio</b>	<b>4.40</b>

Fuente: Propia



Tabla 371: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.33% - 4%)	6.70	1557.88	0.91812	1430.33
MUESTRA 2 (6.33% - 4%)	6.74	1422.34	0.90959	1293.75
MUESTRA 3 (6.33% - 4%)	6.63	1573.04	0.93348	1342.72
MUESTRA 4 (6.33% - 4%)	6.45	1459.67	0.97548	1423.88
MUESTRA 5 (6.33% - 4%)	6.51	1506.79	0.96108	1448.14
<b>Promedio</b>				<b>1387.76</b>

Fuente: Propia

Tabla 372: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 4% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.33% - 4%)	1430.33	4.48	3192.70
MUESTRA 2 (6.33% - 4%)	1293.75	4.41	2932.34
MUESTRA 3 (6.33% - 4%)	1342.72	4.21	3190.88
MUESTRA 4 (6.33% - 4%)	1423.88	4.37	3261.29
MUESTRA 5 (6.33% - 4%)	1448.14	4.55	3179.93
<b>Promedio</b>	<b>1387.76</b>	<b>4.40</b>	<b>3151.43</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



5. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE

Tabla 373: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 5%)	4.61
MUESTRA 2 (6.33% - 5%)	4.15
MUESTRA 3 (6.33% - 5%)	3.21
MUESTRA 4 (6.33% - 5%)	4.41
MUESTRA 5 (6.33% - 5%)	4.36
<b>Promedio</b>	<b>4.15</b>

Fuente: Propia

Tabla 374: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.33% - 5%)	6.93	1673.45	0.87151	1385.70
MUESTRA 2 (6.33% - 5%)	6.89	1599.56	0.87920	1406.33
MUESTRA 3 (6.33% - 5%)	6.90	1637.36	0.87726	1436.39
MUESTRA 4 (6.33% - 5%)	6.88	1565.63	0.88114	1379.55
MUESTRA 5 (6.33% - 5%)	6.90	1459.64	0.87726	1280.48
<b>Promedio</b>				<b>1377.69</b>

Fuente: Propia





Tabla 375: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 5% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.33% - 5%)	1385.70	4.61	3005.20
MUESTRA 2 (6.33% - 5%)	1406.33	4.15	3387.11
MUESTRA 3 (6.33% - 5%)	1436.39	3.21	4474.74
MUESTRA 4 (6.33% - 5%)	1379.55	4.41	3131.07
MUESTRA 5 (6.33% - 5%)	1280.48	4.36	2939.58
<b>Promedio</b>	<b>1377.69</b>	<b>4.15</b>	<b>3387.54</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia

6. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE

Tabla 376: Flujo Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	FLUJO (MM)
MUESTRA 1 (6.33% - 6%)	3.96
MUESTRA 2 (6.33% - 6%)	3.92
MUESTRA 3 (6.33% - 6%)	4.32
MUESTRA 4 (6.33% - 6%)	3.59
MUESTRA 5 (6.33% - 6%)	4.01
<b>Promedio</b>	<b>3.96</b>

Fuente: Propia



Tabla 377: Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ALTURA PROMEDIO	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 1 (6.33% - 6%)	6.85	1457.25	0.88706	1292.67
MUESTRA 2 (6.33% - 6%)	6.95	1496.21	0.86774	1298.32
MUESTRA 3 (6.33% - 6%)	6.91	1562.74	0.87533	1367.92
MUESTRA 4 (6.33% - 6%)	6.88	1685.69	0.88114	1485.33
MUESTRA 5 (6.33% - 6%)	6.93	1643.49	0.87151	1432.32
<b>Promedio</b>				<b>1375.31</b>

Fuente: Propia

Tabla 378: Estabilidad - Flujo Marshall mezclas asfálticas mezclas asfálticas con contenido optimo del 6.33% de cemento asfaltico, adicionada con 6% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.33% - 6%)	1292.67	3.96	3264.32
MUESTRA 2 (6.33% - 6%)	1298.32	3.92	3312.04
MUESTRA 3 (6.33% - 6%)	1367.92	4.32	3166.48
MUESTRA 4 (6.33% - 6%)	1485.33	3.59	4137.41
MUESTRA 5 (6.33% - 6%)	1432.32	4.01	3571.87
<b>Promedio</b>	<b>1375.31</b>	<b>3.96</b>	<b>3490.42</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>			<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



### Contenido óptimo del porcentaje de adición de HDPE en la mezcla asfáltica con 6.33% de cemento asfáltico

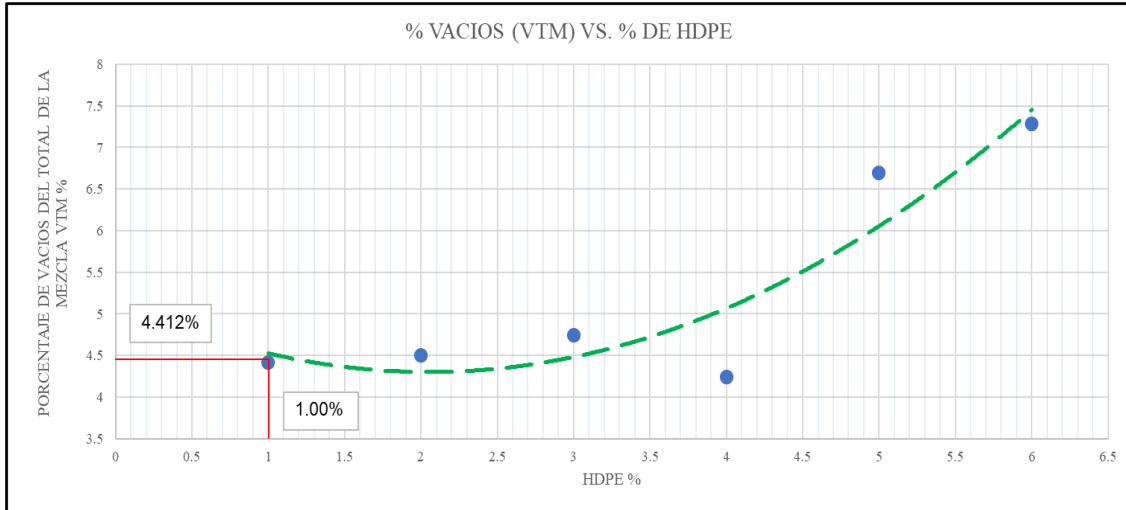


Figura 200: Contenido óptimo según porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica adicionada con HDPE, con un valor de 4.412% VTM.

Fuente: Propia

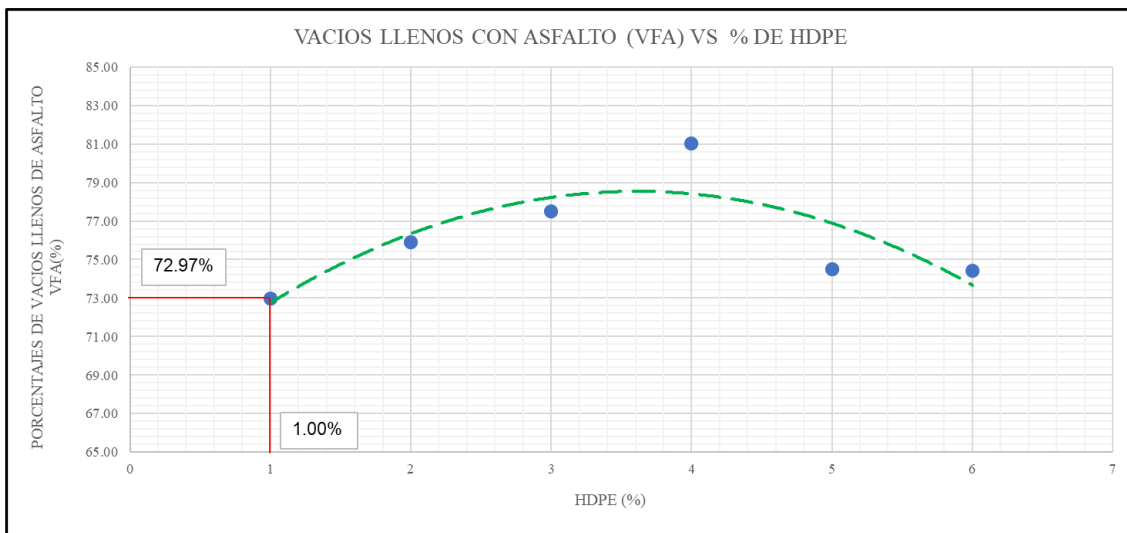


Figura 201: Valor del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE

Fuente: Propia

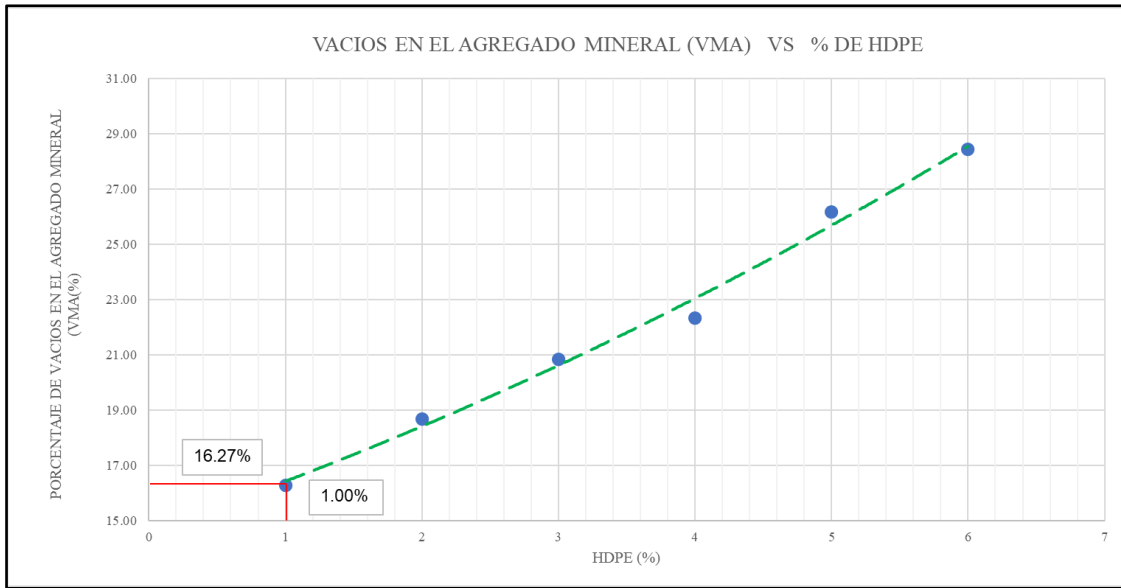


Figura 202: Valor del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE

Fuente: Propia

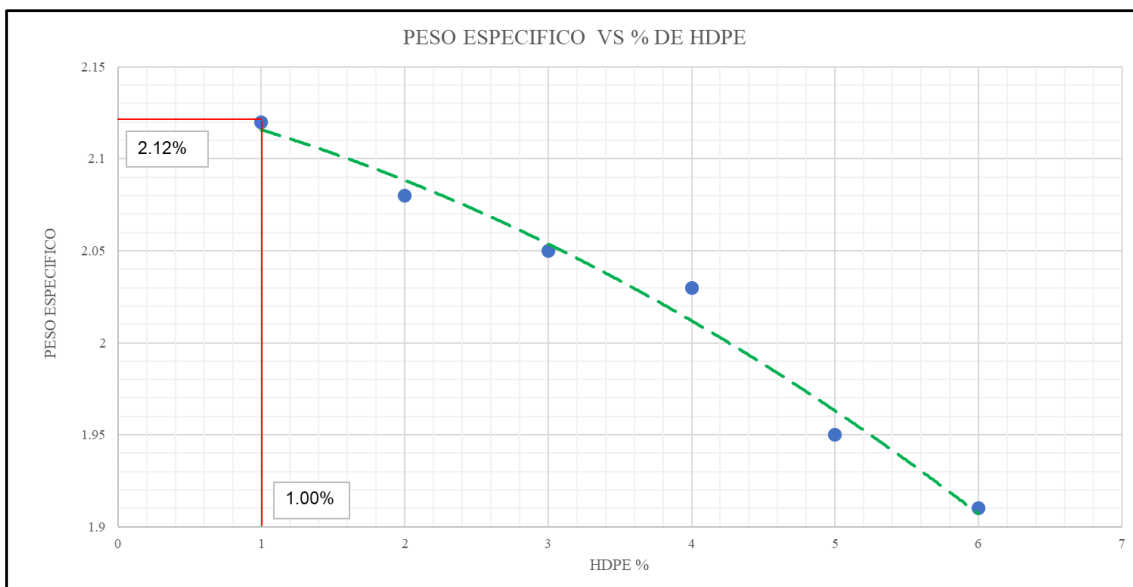


Figura 203: Valor del peso específico para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE

Fuente: Propia

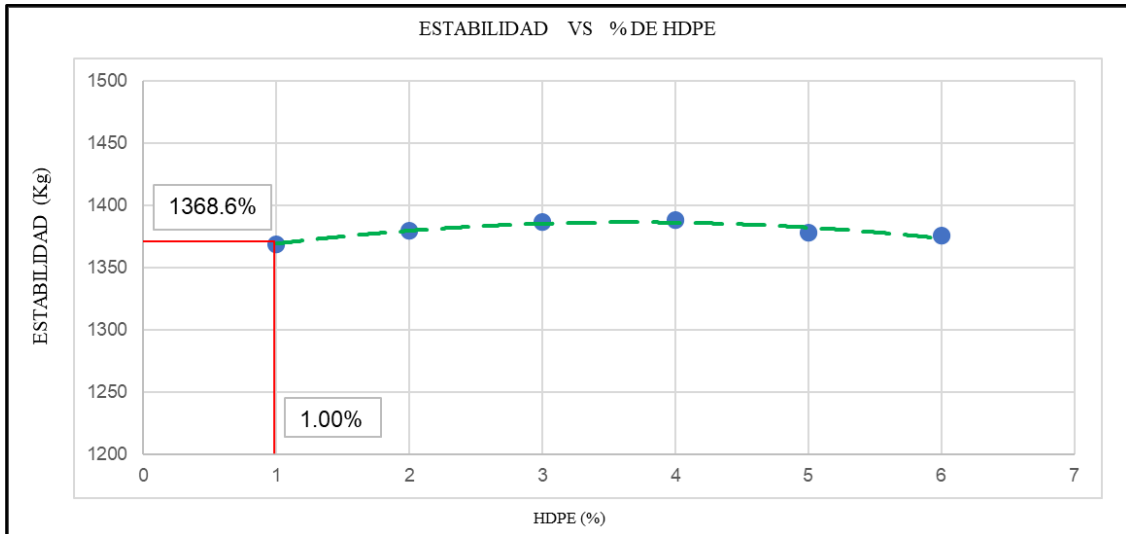


Figura 204: Valor de la Estabilidad para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE

Fuente: Propia

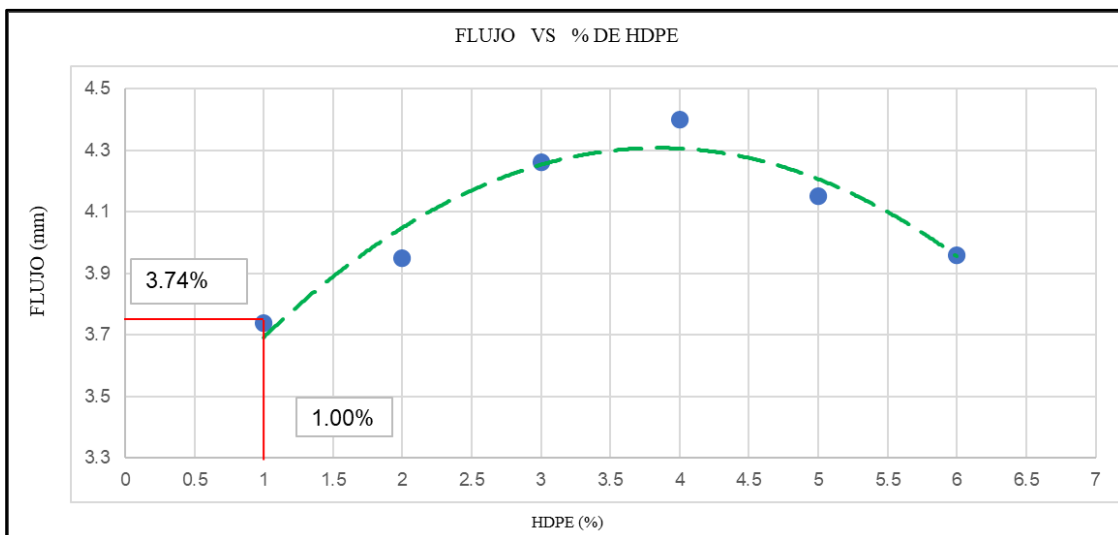


Figura 205: Valor del Flujo para el contenido óptimo de adición de 1% de HDPE

Fuente: Propia



3.6.5.4 Análisis del ensayo de resistencia al daño inducido por humedad de mezclas con contenido óptimo del 6.33% de cemento asfáltico, adicionado con 1% de HDPE

a) Cálculo del ensayo

Para el cálculo se utilizó las siguientes formulas:

St = Esfuerzo a la tensión KPa

P = Carga máxima (N)

T = Espesor del espécimen (mm)

D = Diámetro del espécimen (mm)

$$St = \frac{200 \times P}{3.141592 \times t \times D}$$

S1 = Promedio del esfuerzo a la tensión de la condición seca KPa

S2 = Promedio del esfuerzo a la tensión de la condición saturada KPa

$$\text{Razon del Esfuerzo a Tension (TSR)} = \frac{S2}{S1}$$



b) Diagramas, tablas

Tabla 379: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto del 6.33%, adicionado con 1% de HDPE en condición seca

<b>CONDICION SECA</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
<b>Altura 1</b>	6.40	6.30	6.40
<b>Altura 2</b>	6.20	6.30	6.40
<b>Altura 3</b>	6.20	6.30	6.50
<b>Altura 4</b>	6.30	6.40	6.50
<b>Promedio Altura mm</b>	62.75	63.25	64.50
<b>Diámetro 1</b>	10.10	10.20	10.00
<b>Diámetro 2</b>	10.00	10.20	10.00
<b>Diámetro 3</b>	10.00	10.20	10.10
<b>Diámetro 4</b>	10.10	10.20	10.10
<b>Promedio diámetro mm</b>	100.50	102.00	100.50
<b>CARGA DE ROTURA (N)</b>	<b>7653.41</b>	<b>7789.75</b>	<b>8115.04</b>
<b>TRACCION INDIRECTA (Kpa)</b>	<b>77.26</b>	<b>76.87</b>	<b>79.70</b>
<b>PROMEDIO TRACCION INDIRECTA</b>	<b>77.94</b>		

Fuente: Propia



Tabla 380: Calculo de la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto con 6.33%, adicionado con 1% de HDPE en condición saturada

<b>CONDICION SATURADA</b>			
<b>NUMERO DE MUESTRA</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
<b>Altura 1</b>	6.4	6.30	6.40
<b>Altura 2</b>	6.50	6.30	6.40
<b>Altura 3</b>	6.50	6.20	6.30
<b>Altura 4</b>	6.5	6.4	6.4
<b>Promedio Altura mm</b>	64.75	63.00	63.75
<b>Diámetro 1</b>	10.1	10.2	10
<b>Diámetro 2</b>	10.1	10.2	10
<b>Diámetro 3</b>	10.1	10.2	10
<b>Diámetro 4</b>	10.1	10.3	10
<b>Promedio diámetro mm</b>	101.00	102.25	100.00
<b>CARGA DE ROTURA (N)</b>	<b>7077.30</b>	<b>7567.30</b>	<b>6672.41</b>
<b>TRACCION INDIRECTA (Kpa)</b>	<b>68.89</b>	<b>74.79</b>	<b>66.63</b>
<b>PROMEDIO TRACCION INDIRECTA</b>	<b>70.10</b>		

Fuente: Propia

Tabla 381: Resultado del ensayo de Razón del Esfuerzo a Tensión de una mezcla asfáltica con 6.33% de asfalto, adicionado con 1% de HDPE.

<b>RESULTADOS – TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
<b>Condición Seca</b>	<b>Condición Saturada</b>	<b>TSR %</b>
77.94	70.10	89.94%

Fuente: Propia





c) Análisis del ensayo

Tabla 382: Requerimiento para el ensayo de resistencia al daño inducido por humedad para una muestra con 6.33% de asfalto, adicionado con 1% de HDPE

<b>ENSAYO - % TRACCIÓN INDIRECTA</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>
Según EG – 2013 MTC	80% mínimo
Resultado del ensayo	89.94%

Fuente: Propia

El resultado del ensayo de resistencia al daño inducido por humedad determinada a través de TSR de una mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto del 6.33%, adicionada con 1% de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, cumple con el requerimiento según el Manual de Especificaciones Técnicas EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones



3.6.5.5 Dosificación de mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido de asfalto del 5.5%, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.
  - a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 383: Dosificación de mezcla asfáltica con 5.5 % de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3%, de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 5.5%CA + 1,2,3%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 1% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	392.70	32.73%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	347.82	28.99%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	336.60	28.05%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.88	3.74%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%
HDPE	1.00%	12.00	1.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 2% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	388.50	32.38%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	344.10	28.68%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	333.00	27.75%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.40	3.70%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%
HDPE	2.00%	24.00	2.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 3% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	384.30	32.03%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	340.38	28.37%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	329.40	27.45%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.92	3.66%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%
HDPE	3.00%	36.00	3.00%

Fuente: Propia



Tabla 384: Dosificación de mezcla asfáltica con 5.5 % de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 5.5%CA + 4,5,6%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 4% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	380.10	31.68%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	336.66	28.06%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	325.80	27.15%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.44	3.62%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%
HDPE	4.00%	48.00	4.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 5% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	375.90	31.33%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	332.94	27.75%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	322.20	26.85%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.96	3.58%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%
HDPE	5.00%	60.00	5.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 6% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	371.70	30.98%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	329.22	27.44%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	318.60	26.55%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.48	3.54%
ASFALTO PEN 85/100	5.50%	66.00	5.50%
HDPE	6.00%	72.00	6.00%

Fuente: Propia

3.6.5.6 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.
  - a) Cálculo de parámetros volumétricos.



Tabla 385: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.5% - 1%HDPE	1185.90	1188.20	634.50	2.14
2 - 5.5% - 1%HDPE	1186.40	1189.30	633.90	2.14
3 - 5.5% - 1%HDPE	1185.70	1188.90	634.10	2.14
4 - 5.5% - 1%HDPE	1188.10	1191.40	640.30	2.16
5 - 5.5% - 1%HDPE	1188.80	1191.70	639.70	2.15
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.15</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.5% - 2%HDPE	1189.40	1192.70	631.80	2.12
2 - 5.5% - 2%HDPE	1188.70	1191.40	630.70	2.12
3 - 5.5% - 2%HDPE	1191.70	1194.80	635.70	2.13
4 - 5.5% - 2%HDPE	1189.30	1192.60	631.10	2.12
5 - 5.5% - 2%HDPE	1191.50	1195.90	636.00	2.13
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.12</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.5% - 3%HDPE	1194.30	1198.50	618.80	2.06
2 - 5.5% - 3%HDPE	1194.70	1198.20	619.10	2.06
3 - 5.5% - 3%HDPE	1192.90	1196.50	624.60	2.09
4 - 5.5% - 3%HDPE	1193.70	1197.80	626.90	2.09
5 - 5.5% - 3%HDPE	1193.20	1197.40	626.50	2.09
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.08</b>

Fuente Propia



Tabla 386: Gravedad especifica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.5% - 4%HDPE	1198.90	1199.90	615.90	2.05
2 - 5.5% - 4%HDPE	1198.20	1199.90	615.20	2.05
3 - 5.5% - 4%HDPE	1199.00	1200.10	613.10	2.04
4 - 5.5% - 4%HDPE	1196.40	1197.80	608.90	2.03
5 - 5.5% - 4%HDPE	1198.60	1199.50	607.50	2.02
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.04</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.5% - 5%HDPE	1185.40	1191.30	602.70	2.01
2 - 5.5% - 5%HDPE	1188.70	1194.30	605.10	2.02
3 - 5.5% - 5%HDPE	1188.30	1193.90	603.30	2.01
4 - 5.5% - 5%HDPE	1186.90	1192.60	603.70	2.02
5 - 5.5% - 5%HDPE	1191.60	1197.20	609.40	2.03
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.02</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 5.5% - 6%HDPE	1187.00	1191.50	601.00	2.01
2 - 5.5% - 6%HDPE	1188.90	1192.40	603.80	2.02
3 - 5.5% - 6%HDPE	1187.50	1191.80	602.70	2.02
4 - 5.5% - 6%HDPE	1188.40	1192.90	605.80	2.02
5 - 5.5% - 6%HDPE	1191.30	1193.90	604.60	2.02
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.02</b>

Fuente: Propia



Tabla 387: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 5.5% - 1%HDPE	5.5	1	2.26
2 - 5.5% - 1%HDPE	5.5	1	2.26
3 - 5.5% - 1%HDPE	5.5	1	2.26
4 - 5.5% - 1%HDPE	5.5	1	2.26
5 - 5.5% - 1%HDPE	5.5	1	2.26
<b>PROBETA</b>			
1 - 5.5% - 2%HDPE	5.5	2	2.22
2 - 5.5% - 2%HDPE	5.5	2	2.22
3 - 5.5% - 2%HDPE	5.5	2	2.22
4 - 5.5% - 2%HDPE	5.5	2	2.22
5 - 5.5% - 2%HDPE	5.5	2	2.22
<b>PROBETA</b>			
1 - 5.5% - 3%HDPE	5.5	3	2.19
2 - 5.5% - 3%HDPE	5.5	3	2.19
3 - 5.5% - 3%HDPE	5.5	3	2.19
4 - 5.5% - 3%HDPE	5.5	3	2.19
5 - 5.5% - 3%HDPE	5.5	3	2.19

Fuente: Propia



Tabla 388: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 5.5% - 4%HDPE	5.5	4	2.16
2 - 5.5% - 4%HDPE	5.5	4	2.16
3 - 5.5% - 4%HDPE	5.5	4	2.16
4 - 5.5% - 4%HDPE	5.5	4	2.16
5 - 5.5% - 4%HDPE	5.5	4	2.16
<b>PROBETA</b>			
1 - 5.5% - 5%HDPE	5.5	5	2.13
2 - 5.5% - 5%HDPE	5.5	5	2.13
3 - 5.5% - 5%HDPE	5.5	5	2.13
4 - 5.5% - 5%HDPE	5.5	5	2.13
5 - 5.5% - 5%HDPE	5.5	5	2.13
<b>PROBETA</b>			
1 - 5.5% - 6%HDPE	5.5	6	2.1
2 - 5.5% - 6%HDPE	5.5	6	2.1
3 - 5.5% - 6%HDPE	5.5	6	2.1
4 - 5.5% - 6%HDPE	5.5	6	2.1
5 - 5.5% - 6%HDPE	5.5	6	2.1

Fuente: Propia



Tabla 389: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 5.5% - 1%HDPE	1.00	5.31	15.56	65.87
2 - 5.5% - 1%HDPE	1.00	5.31	15.56	65.87
3 - 5.5% - 1%HDPE	1.00	5.31	15.56	65.87
4 - 5.5% - 1%HDPE	1.00	4.42	14.77	70.07
5 - 5.5% - 1%HDPE	1.00	4.87	15.16	67.88
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.99</b>	<b>15.32</b>	<b>67.11</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 5.5% - 2%HDPE	2.00	4.80	17.19	72.08
2 - 5.5% - 2%HDPE	2.00	4.80	17.19	72.08
3 - 5.5% - 2%HDPE	2.00	4.35	16.80	74.11
4 - 5.5% - 2%HDPE	2.00	4.80	17.19	72.08
5 - 5.5% - 2%HDPE	2.00	4.35	16.80	74.11
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.62</b>	<b>17.03</b>	<b>72.89</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 5.5% - 3%HDPE	3.00	5.94	20.35	70.82
2 - 5.5% - 3%HDPE	3.00	5.94	20.35	70.82
3 - 5.5% - 3%HDPE	3.00	4.57	19.19	76.19
4 - 5.5% - 3%HDPE	3.00	4.57	19.19	76.19
5 - 5.5% - 3%HDPE	3.00	4.57	19.19	76.19
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.12</b>	<b>19.66</b>	<b>74.04</b>

Fuente: Propia





Tabla 390: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 5.5% - 4%HDPE	4.00	5.09	21.56	76.39
2 - 5.5% - 4%HDPE	4.00	5.09	21.56	76.39
3 - 5.5% - 4%HDPE	4.00	5.56	21.94	74.66
4 - 5.5% - 4%HDPE	4.00	5.52	22.32	75.27
5 - 5.5% - 4%HDPE	4.00	5.48	22.71	75.87
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.35</b>	<b>22.02</b>	<b>75.72</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 5.5% - 5%HDPE	5.00	5.63	23.89	76.43
2 - 5.5% - 5%HDPE	5.00	5.16	23.51	78.05
3 - 5.5% - 5%HDPE	5.00	5.63	23.89	76.43
4 - 5.5% - 5%HDPE	5.00	5.16	23.51	78.05
5 - 5.5% - 5%HDPE	5.00	4.69	23.13	79.73
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.25</b>	<b>23.59</b>	<b>77.74</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 5.5% - 6%HDPE	6.00	5.29	24.69	78.58
2 - 5.5% - 6%HDPE	6.00	5.81	24.32	76.11
3 - 5.5% - 6%HDPE	6.00	5.81	24.32	76.11
4 - 5.5% - 6%HDPE	6.00	5.81	24.32	76.11
5 - 5.5% - 6%HDPE	6.00	5.81	24.32	76.11
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.71</b>	<b>24.39</b>	<b>76.60</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 391: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3% y 4% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 5.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.539	2.509	CORRECTO
2 - 5.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.539	2.509	CORRECTO
3 - 5.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.539	2.509	CORRECTO
4 - 5.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.539	2.509	CORRECTO
5 - 5.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.539	2.509	CORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 5.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.490	2.509	INCORRECTO
2 - 5.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.490	2.509	INCORRECTO
3 - 5.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.490	2.509	INCORRECTO
4 - 5.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.490	2.509	INCORRECTO
5 - 5.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.490	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 5.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.453	2.509	INCORRECTO
2 - 5.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.453	2.509	INCORRECTO
3 - 5.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.453	2.509	INCORRECTO
4 - 5.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.453	2.509	INCORRECTO
5 - 5.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.453	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



Tabla 392: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 5.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.416	2.509	INCORRECTO
2 - 5.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.416	2.509	INCORRECTO
3 - 5.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.416	2.509	INCORRECTO
4 - 5.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.416	2.509	INCORRECTO
5 - 5.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.416	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 5.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.380	2.509	INCORRECTO
2 - 5.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.380	2.509	INCORRECTO
3 - 5.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.380	2.509	INCORRECTO
4 - 5.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.380	2.509	INCORRECTO
5 - 5.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.380	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 5.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.344	2.509	INCORRECTO
2 - 5.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.344	2.509	INCORRECTO
3 - 5.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.344	2.509	INCORRECTO
4 - 5.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.344	2.509	INCORRECTO
5 - 5.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.344	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



3.6.5.7 Análisis de ensayo de Flujo y Estabilidad de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con polietileno de alta densidad HDPE

1. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.

Tabla 393: Tabla N Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD /FLUJO
MUESTRA 1 (5.5% - 1%)	1207.25	1.01847	1229.55	3.37	3645.27
MUESTRA 2 (5.5% - 1%)	1215.88	1.01585	1235.15	3.40	3632.79
MUESTRA 3 (5.5% - 1%)	1201.54	1.04526	1255.92	3.34	3760.24
MUESTRA 4 (5.5% - 1%)	1267.34	1.00549	1274.30	3.42	3726.02
MUESTRA 5 (5.5% - 1%)	1279.42	1.02374	1309.79	3.39	3863.69
<b>Promedio</b>			<b>1260.94</b>	<b>3.38</b>	<b>3725.60</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (5.5% - 2%)	1171.04	0.97792	1145.19	3.77	3037.64
MUESTRA 2 (5.5% - 2%)	1189.73	0.97792	1163.46	3.75	3102.56
MUESTRA 3 (5.5% - 2%)	1182.55	1.13234	1339.04	3.69	3628.83
MUESTRA 4 (5.5% - 2%)	1162.85	0.97792	1137.18	3.65	3115.56
MUESTRA 5 (5.5% - 2%)	1175.04	1.00038	1175.48	3.78	3109.74
<b>Promedio</b>			<b>1192.07</b>	<b>3.73</b>	<b>3198.87</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (5.5% - 3%)	1260.90	0.96823	1220.84	4.04	3020.39
MUESTRA 2 (5.5% - 3%)	1280.56	0.96583	1236.81	4.10	3016.61
MUESTRA 3 (5.5% - 3%)	1284.98	0.98037	1259.76	4.01	3141.55
MUESTRA 4 (5.5% - 3%)	1258.83	0.96823	1218.84	4.12	2958.35
MUESTRA 5 (5.5% - 3%)	1372.33	0.97305	1335.35	4.08	3272.92
<b>Promedio</b>			<b>1254.32</b>	<b>4.07</b>	<b>3081.96</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



Tabla 394: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 5.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD /FLUJO
MUESTRA 1 (5.5% - 4%)	1365.27	1.03172	1408.58	4.46	3160.38
MUESTRA 2 (5.5% - 4%)	1347.87	1.02639	1383.43	4.38	3158.52
MUESTRA 3 (5.5% - 4%)	1339.68	1.03981	1342.72	4.35	3086.72
MUESTRA 4 (5.5% - 4%)	1369.63	1.02905	1409.42	4.44	3174.37
MUESTRA 5 (5.5% - 4%)	1344.97	1.03172	1387.64	4.37	3175.38
<b>Promedio</b>			<b>1386.36</b>	<b>4.40</b>	<b>3151.07</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (5.5% - 5%)	1500.65	0.91812	1377.78	4.45	3093.35
MUESTRA 2 (5.5% - 5%)	1459.28	0.92683	1352.51	4.44	3046.19
MUESTRA 3 (5.5% - 5%)	1683.23	0.92245	1552.71	4.48	3465.87
MUESTRA 4 (5.5% - 5%)	1402.45	0.93797	1315.45	4.38	3003.31
MUESTRA 5 (5.5% - 5%)	1587.35	0.92245	1464.25	4.40	3327.84
<b>Promedio</b>			<b>1412.54</b>	<b>4.43</b>	<b>3187.31</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (5.5% - 6%)	1845.54	0.88905	1640.77	4.12	3982.45
MUESTRA 2 (5.5% - 6%)	1776.17	0.91812	1630.74	4.12	3958.11
MUESTRA 3 (5.5% - 6%)	1787.25	0.88706	1585.39	4.03	3933.97
MUESTRA 4 (5.5% - 6%)	1623.64	0.88507	1437.04	4.02	3574.73
MUESTRA 5 (5.5% - 6%)	1321.47	0.90749	1199.22	4.06	2953.74
<b>Promedio</b>			<b>1498.63</b>	<b>4.07</b>	<b>3680.60</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



### Porcentajes de adición de HDPE en la mezcla asfáltica con 5.5 % de cemento asfáltico

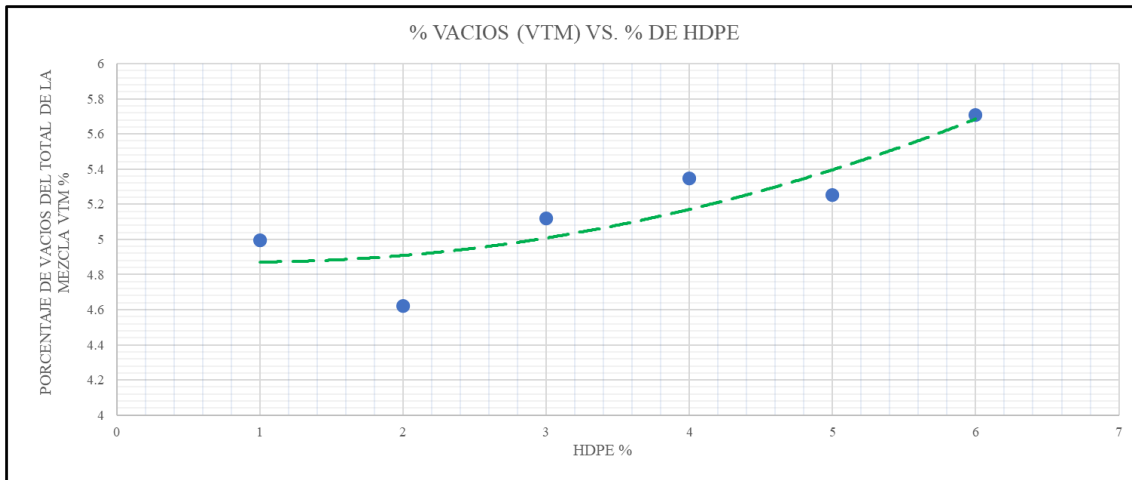


Figura 206: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

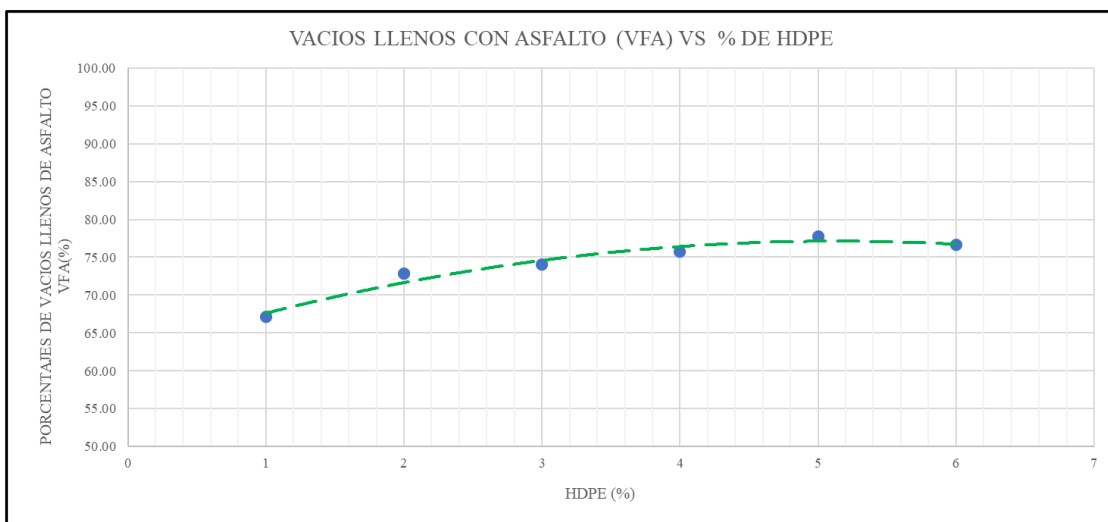


Figura 207: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

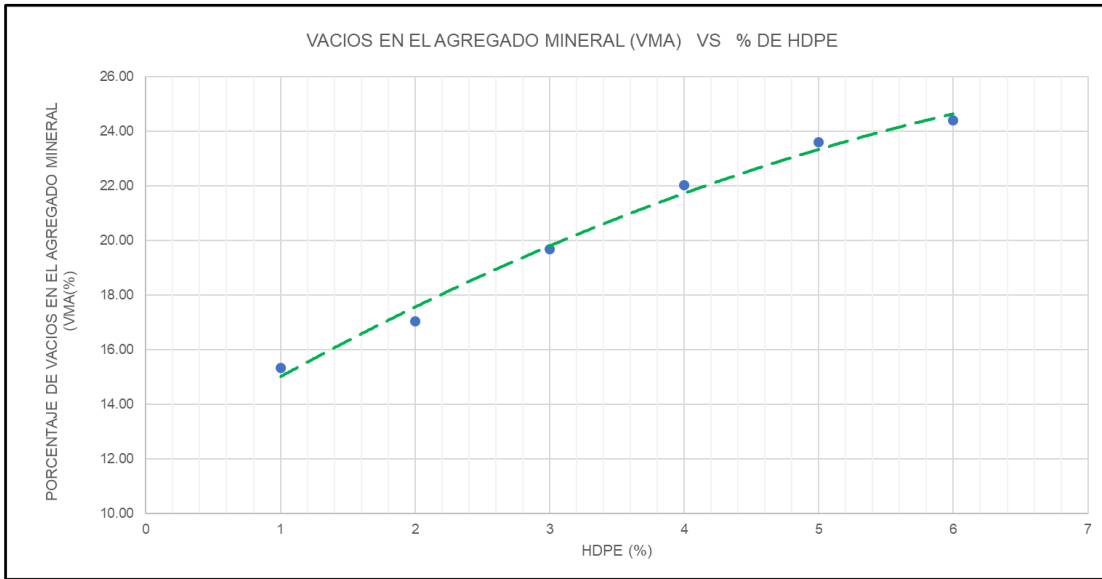


Figura 208: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

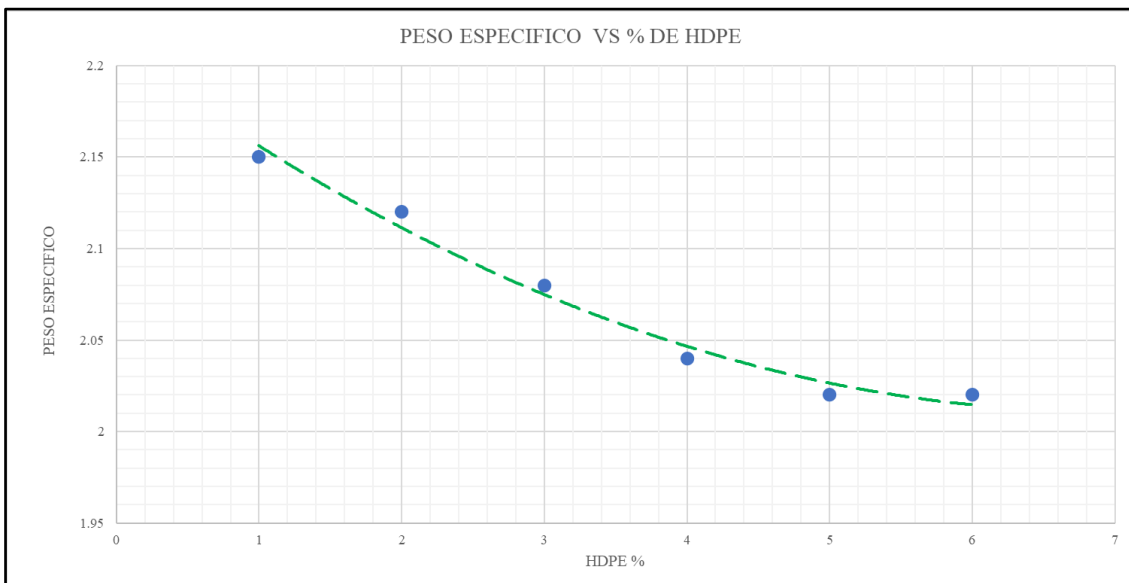


Figura 209: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

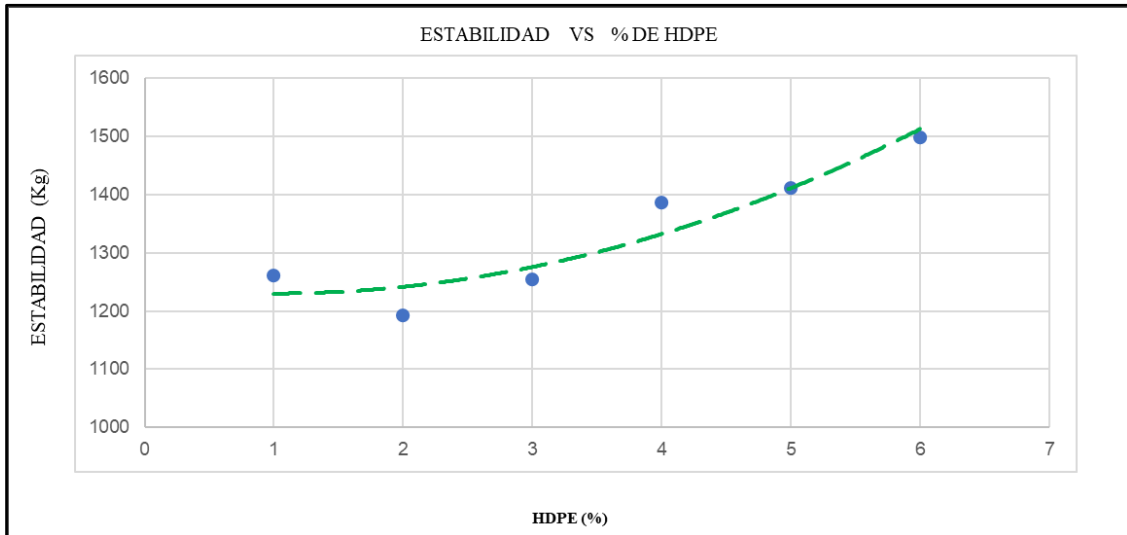


Figura 210: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

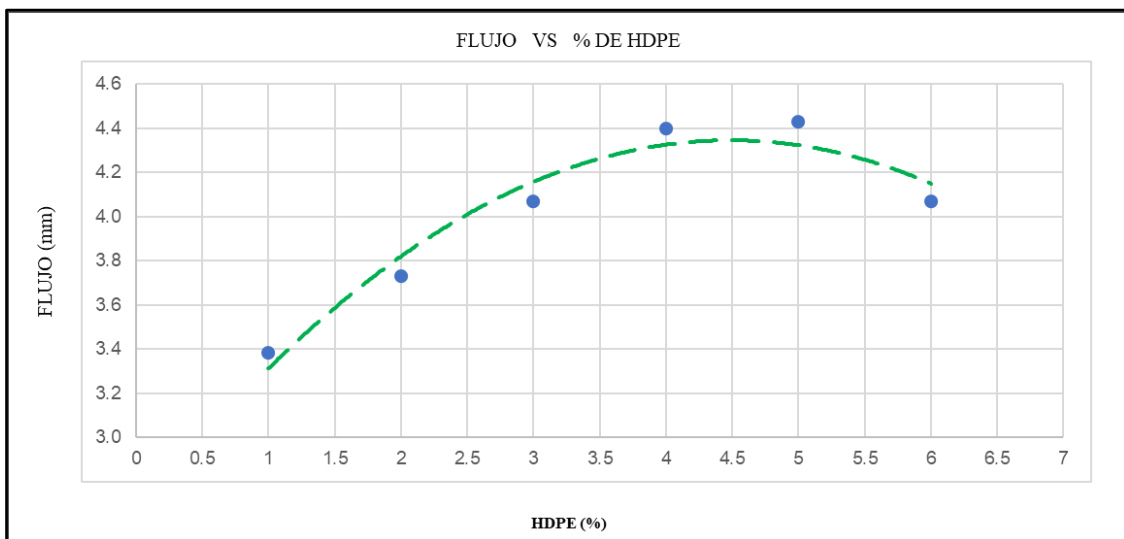


Figura 211: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 5.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia





3.6.5.8 Dosificación de mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido de asfalto del 6%, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.
  - a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 395: Dosificación de mezcla asfáltica con 6% de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6%CA + 1,2,3%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 1% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	390.60	32.55%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	345.96	28.83%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	334.80	27.90%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.64	3.72%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%
HDPE	1.00%	12.00	1.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 2% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	386.40	32.20%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	342.24	28.52%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	331.20	27.60%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.16	3.68%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%
HDPE	2.00%	24.00	2.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 3% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	382.20	31.85%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	338.52	28.21%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	327.60	27.30%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.68	3.64%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%
HDPE	3.00%	36.00	3.00%

Fuente: Propia



Tabla 396: Dosificación de mezcla asfáltica con 6% de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6%CA + 4,5,6%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 4% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	378.00	31.50%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	334.80	27.90%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	324.00	27.00%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.20	3.60%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%
HDPE	4.00%	48.00	4.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 5% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	373.80	31.15%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	331.08	27.59%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	320.40	26.70%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.72	3.56%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%
HDPE	5.00%	60.00	5.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 6% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	369.60	30.80%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	327.36	27.28%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	316.80	26.40%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.24	3.52%
ASFALTO PEN 85/100	6.00%	72.00	6.00%
HDPE	6.00%	72.00	6.00%

Fuente: Propia

3.6.5.9 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.



b) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 397: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3%, de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6% - 1%HDPE	1186.90	1187.60	626.90	2.12
2 - 6% - 1%HDPE	1190.00	1191.60	630.60	2.12
3 - 6% - 1%HDPE	1186.30	1186.90	625.30	2.11
4 - 6% - 1%HDPE	1187.60	1188.40	640.30	2.17
5 - 6% - 1%HDPE	1190.80	1192.10	645.60	2.18
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.14</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6% - 2%HDPE	1195.40	1197.30	637.00	2.13
2 - 6% - 2%HDPE	1185.60	1186.20	631.70	2.14
3 - 6% - 2%HDPE	1189.70	1190.90	634.00	2.14
4 - 6% - 2%HDPE	1195.60	1197.50	637.80	2.14
5 - 6% - 2%HDPE	1188.90	1190.30	633.90	2.14
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.14</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6% - 3%HDPE	1189.60	1189.60	625.20	2.11
2 - 6% - 3%HDPE	1189.70	1191.40	621.70	2.09
3 - 6% - 3%HDPE	1190.80	1192.30	621.50	2.09
4 - 6% - 3%HDPE	1190.60	1191.80	621.90	2.09
5 - 6% - 3%HDPE	1189.20	1191.60	621.90	2.09
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.09</b>

Fuente: Propia



Tabla 398: Gravedad especifica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6% - 4%HDPE	1190.30	1192.30	605.10	2.03
2 - 6% - 4%HDPE	1186.20	1189.20	601.00	2.02
3 - 6% - 4%HDPE	1184.80	1187.20	608.00	2.05
4 - 6% - 4%HDPE	1186.90	1188.50	606.70	2.04
5 - 6% - 4%HDPE	1190.50	1192.50	605.30	2.03
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.03</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6% - 5%HDPE	1189.70	1192.90	590.10	1.97
2 - 6% - 5%HDPE	1195.00	1202.00	599.90	1.98
3 - 6% - 5%HDPE	1195.10	1199.50	612.80	2.04
4 - 6% - 5%HDPE	1192.80	1196.40	609.60	2.03
5 - 6% - 5%HDPE	1195.40	1199.80	610.90	2.03
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.01</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6% - 6%HDPE	1188.90	1191.70	596.30	2
2 - 6% - 6%HDPE	1195.50	1201.10	600.70	1.99
3 - 6% - 6%HDPE	1187.50	1191.50	593.30	1.99
4 - 6% - 6%HDPE	1195.30	1199.60	599.70	1.99
5 - 6% - 6%HDPE	1188.60	1192.10	597.50	2
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.99</b>

Fuente: Propia



Tabla 399: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 – 6% - 1%HDPE	6.0	1	2.22
2 – 6% - 1%HDPE	6.0	1	2.22
3 – 6% - 1%HDPE	6.0	1	2.22
4 – 6% - 1%HDPE	6.0	1	2.22
5 – 6% - 1%HDPE	6.0	1	2.22
<b>PROBETA</b>			
1 – 6% - 2%HDPE	6.0	2	2.19
2 – 6% - 2%HDPE	6.0	2	2.19
3 - 6% - 2%HDPE	6.0	2	2.19
4 - 6% - 2%HDPE	6.0	2	2.19
5 - 6% - 2%HDPE	6.0	2	2.19
<b>PROBETA</b>			
1 - 6% - 3%HDPE	6.0	3	2.16
2 - 6% - 3%HDPE	6.0	3	2.16
3 - 6% - 3%HDPE	6.0	3	2.16
4 - 6% - 3%HDPE	6.0	3	2.16
5 - 6% - 3%HDPE	6.0	3	2.16

Fuente: Propia



Tabla 400: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 6% - 4%HDPE	6.0	4	2.13
2 - 6% - 4%HDPE	6.0	4	2.13
3 - 6% - 4%HDPE	6.0	4	2.13
4 - 6% - 4%HDPE	6.0	4	2.13
5 - 6% - 4%HDPE	6.0	4	2.13
<b>PROBETA</b>			
1 - 6% - 5%HDPE	6.0	5	2.10
2 - 6% - 5%HDPE	6.0	5	2.10
3 - 6% - 5%HDPE	6.0	5	2.10
4 - 6% - 5%HDPE	6.0	5	2.10
5 - 6% - 5%HDPE	6.0	5	2.10
<b>PROBETA</b>			
1 - 6% - 6%HDPE	6.0	6	2.07
2 - 6% - 6%HDPE	6.0	6	2.07
3 - 6% - 6%HDPE	6.0	6	2.07
4 - 6% - 6%HDPE	6.0	6	2.07
5 - 6% - 6%HDPE	6.0	6	2.07

Fuente: Propia



Tabla 401: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6% - 1%HDPE	1.00	4.59	16.15	68.57
2 - 6% - 1%HDPE	1.00	4.59	16.15	68.57
3 - 6% - 1%HDPE	1.00	5.04	16.19	65.87
4 - 6% - 1%HDPE	1.00	3.84	14.37	70.28
5 - 6% - 1%HDPE	1.00	3.69	13.98	70.60
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.59</b>	<b>15.37</b>	<b>68.78</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6% - 2%HDPE	2.00	4.33	16.80	71.23
2 - 6% - 2%HDPE	2.00	4.37	16.41	70.37
3 - 6% - 2%HDPE	2.00	4.37	16.41	70.37
4 - 6% - 2%HDPE	2.00	4.57	16.41	69.15
5 - 6% - 2%HDPE	2.00	4.77	16.41	67.93
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.48</b>	<b>16.49</b>	<b>69.81</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6% - 3%HDPE	3.00	4.41	18.42	76.06
2 - 6% - 3%HDPE	3.00	4.83	19.19	74.84
3 - 6% - 3%HDPE	3.00	4.83	19.19	74.84
4 - 6% - 3%HDPE	3.00	4.83	19.19	74.84
5 - 6% - 3%HDPE	3.00	4.83	19.19	74.84
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.75</b>	<b>19.04</b>	<b>75.08</b>

Fuente: Propia



Tabla 402: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6% - 4%HDPE	4.00	4.78	22.32	78.59
2 - 6% - 4%HDPE	4.00	5.25	22.71	76.88
3 - 6% - 4%HDPE	4.00	4.85	21.56	77.50
4 - 6% - 4%HDPE	4.00	4.32	21.94	80.31
5 - 6% - 4%HDPE	4.00	4.78	22.32	78.59
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.80</b>	<b>22.17</b>	<b>78.37</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6% - 5%HDPE	5.00	5.28	25.40	79.22
2 - 6% - 5%HDPE	5.00	5.80	25.03	76.82
3 - 6% - 5%HDPE	5.00	4.95	22.75	78.25
4 - 6% - 5%HDPE	5.00	5.43	23.13	76.53
5 - 6% - 5%HDPE	5.00	4.43	23.13	80.85
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.18</b>	<b>23.89</b>	<b>78.33</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6% - 6%HDPE	6.00	5.47	25.07	78.18
2 - 6% - 6%HDPE	6.00	5.26	25.44	79.32
3 - 6% - 6%HDPE	6.00	5.26	25.44	79.32
4 - 6% - 6%HDPE	6.00	5.26	25.44	79.32
5 - 6% - 6%HDPE	6.00	4.97	25.07	80.17
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.24</b>	<b>25.29</b>	<b>79.26</b>

Fuente: Propia





c) Verificación de gravedades

Tabla 403: Tabla N verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6% - 1%HDPE	1.00	2.726	2.510	2.509	CORRECTO
2 - 6% - 1%HDPE	1.00	2.726	2.510	2.509	CORRECTO
3 - 6% - 1%HDPE	1.00	2.726	2.510	2.509	CORRECTO
4 - 6% - 1%HDPE	1.00	2.726	2.510	2.509	CORRECTO
5 - 6% - 1%HDPE	1.00	2.726	2.510	2.509	CORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6% - 2%HDPE	2.00	2.726	2.473	2.509	INCORRECTO
2 - 6% - 2%HDPE	2.00	2.726	2.473	2.509	INCORRECTO
3 - 6% - 2%HDPE	2.00	2.726	2.473	2.509	INCORRECTO
4 - 6% - 2%HDPE	2.00	2.726	2.473	2.509	INCORRECTO
5 - 6% - 2%HDPE	2.00	2.726	2.473	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6% - 3%HDPE	3.00	2.726	2.435	2.509	INCORRECTO
2 - 6% - 3%HDPE	3.00	2.726	2.435	2.509	INCORRECTO
3 - 6% - 3%HDPE	3.00	2.726	2.435	2.509	INCORRECTO
4 - 6% - 3%HDPE	3.00	2.726	2.435	2.509	INCORRECTO
5 - 6% - 3%HDPE	3.00	2.726	2.435	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



Tabla 404: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6% - 4%HDPE	4.00	2.726	2.398	2.509	INCORRECTO
2 - 6% - 4%HDPE	4.00	2.726	2.398	2.509	INCORRECTO
3 - 6% - 4%HDPE	4.00	2.726	2.398	2.509	INCORRECTO
4 - 6% - 4%HDPE	4.00	2.726	2.398	2.509	INCORRECTO
5 - 6% - 4%HDPE	4.00	2.726	2.398	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6% - 5%HDPE	5.00	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
2 - 6% - 5%HDPE	5.00	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
3 - 6% - 5%HDPE	5.00	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
4 - 6% - 5%HDPE	5.00	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
5 - 6% - 5%HDPE	5.00	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6% - 6%HDPE	6.00	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
2 - 6% - 6%HDPE	6.00	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
3 - 6% - 6%HDPE	6.00	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
4 - 6% - 6%HDPE	6.00	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
5 - 6% - 6%HDPE	6.00	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



3.6.5.10 Análisis de ensayo de Flujo y Estabilidad de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con polietileno de alta densidad HDPE

1. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.

Tabla 405: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD /FLUJO
MUESTRA 1 (6% - 1%)	1333.68	0.99279	1324.07	3.70	3581.47
MUESTRA 2 (6% - 1%)	1387.87	1.00038	1388.39	3.70	3752.41
MUESTRA 3 (6% - 1%)	1322.29	0.98530	1302.85	3.64	3579.26
MUESTRA 4 (6% - 1%)	1256.79	1.00038	1257.26	3.72	3379.73
MUESTRA 5 (6% - 1%)	1496.34	0.99784	1493.10	3.69	4046.34
<b>Promedio</b>			<b>1353.13</b>	<b>3.69</b>	<b>3667.84</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6% - 2%)	1076.20	0.99784	1073.87	3.91	2749.99
MUESTRA 2 (6% - 2%)	1440.03	1.00549	1447.93	3.98	3638.02
MUESTRA 3 (6% - 2%)	1481.22	0.94478	1399.43	3.40	4111.13
MUESTRA 4 (6% - 2%)	1483.98	0.99279	1473.28	3.52	4184.27
MUESTRA 5 (6% - 2%)	1482.52	1.00293	1486.86	3.78	3932.45
<b>Promedio</b>			<b>1376.27</b>	<b>3.72</b>	<b>3723.17</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6% - 3%)	1590.76	0.93797	1492.08	3.87	3855.50
MUESTRA 2 (6% - 3%)	1534.98	0.96345	1478.88	3.82	3871.41
MUESTRA 3 (6% - 3%)	1401.52	0.95170	1333.83	3.31	4029.70
MUESTRA 4 (6% - 3%)	1582.76	0.96823	1532.47	3.65	4198.55
MUESTRA 5 (6% - 3%)	1568.35	0.97305	1526.08	3.84	3974.17
<b>Promedio</b>			<b>1472.67</b>	<b>3.70</b>	<b>3985.87</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



Tabla 406: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD /FLUJO
MUESTRA 1 (6% - 4%)	1528.85	0.88507	1353.15	3.60	3758.75
MUESTRA 2 (6% - 4%)	1544.52	0.88114	1360.94	3.54	3844.46
MUESTRA 3 (6% - 4%)	1509.96	0.89918	1342.72	3.70	3628.98
MUESTRA 4 (6% - 4%)	1587.36	0.89509	1420.84	3.68	3860.98
MUESTRA 5 (6% - 4%)	1773.36	0.88507	1569.56	3.69	4253.55
<b>Promedio</b>			<b>1409.44</b>	<b>3.64</b>	<b>3869.34</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6% - 5%)	1659.19	0.89918	1491.91	3.30	4520.94
MUESTRA 2 (6% - 5%)	1556.88	0.87726	1365.78	4.21	3244.13
MUESTRA 3 (6% - 5%)	1507.56	0.89105	1343.32	3.69	3640.43
MUESTRA 4 (6% - 5%)	1548.97	0.89509	1386.47	3.52	3938.84
MUESTRA 5 (6% - 5%)	1527.56	0.88706	1355.03	3.69	3672.17
<b>Promedio</b>			<b>1388.50</b>	<b>3.68</b>	<b>3803.30</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6% - 6%)	1677.10	0.86962	1458.44	3.69	3952.41
MUESTRA 2 (6% - 6%)	1484.11	0.87533	1299.09	3.89	3339.56
MUESTRA 3 (6% - 6%)	1715.51	0.87533	1501.64	3.25	4620.43
MUESTRA 4 (6% - 6%)	1499.46	0.87920	1318.32	3.36	3923.57
MUESTRA 5 (6% - 6%)	1685.99	0.87920	1482.31	3.58	4140.53
<b>Promedio</b>			<b>1411.96</b>	<b>3.55</b>	<b>3995.30</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



### Porcentajes de adición de HDPE en la mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico

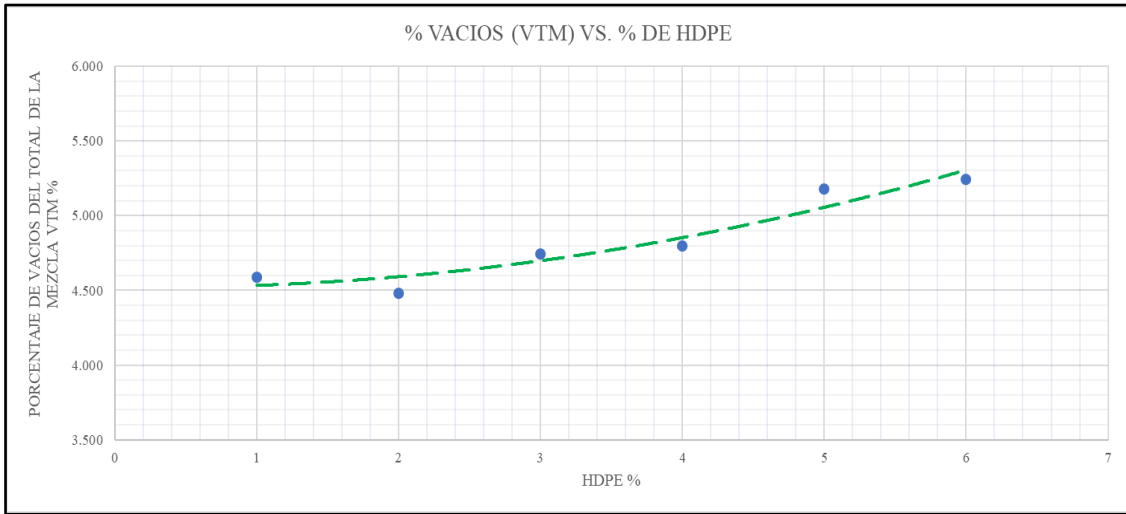


Figura 212: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

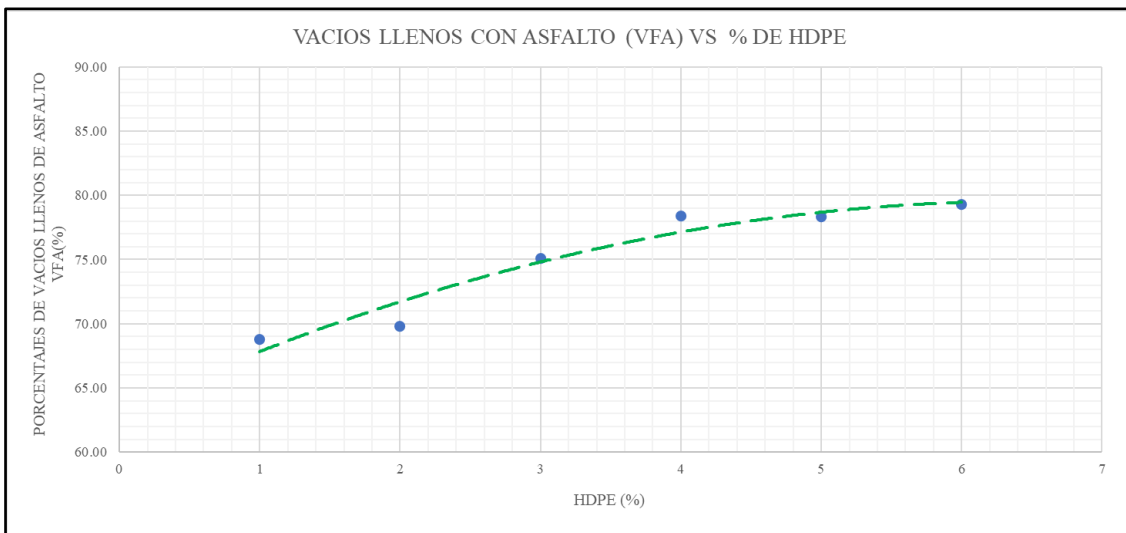


Figura 213: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

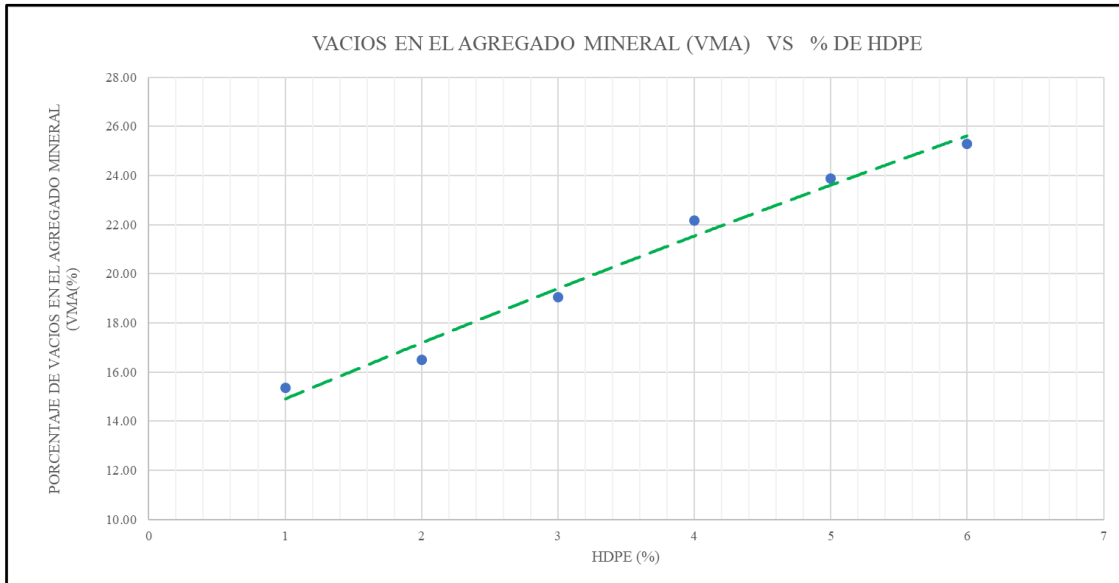


Figura 214: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

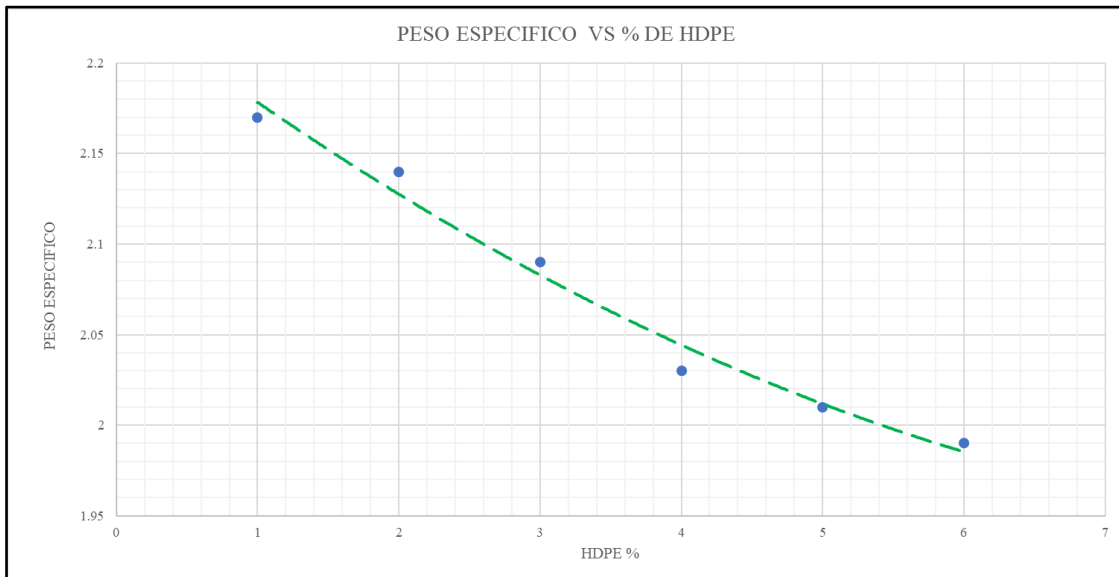


Figura 215: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

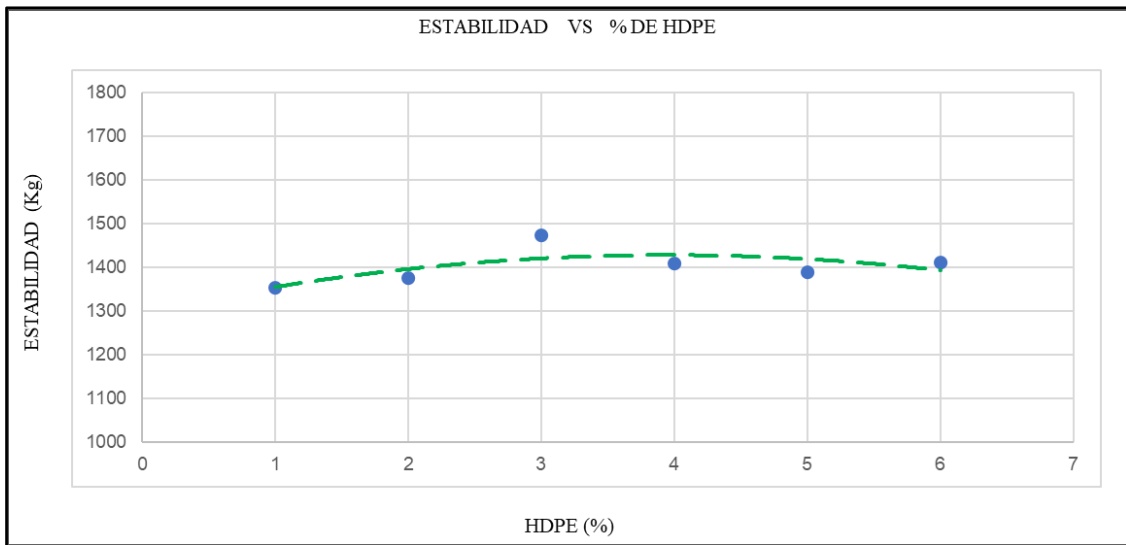


Figura 216: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

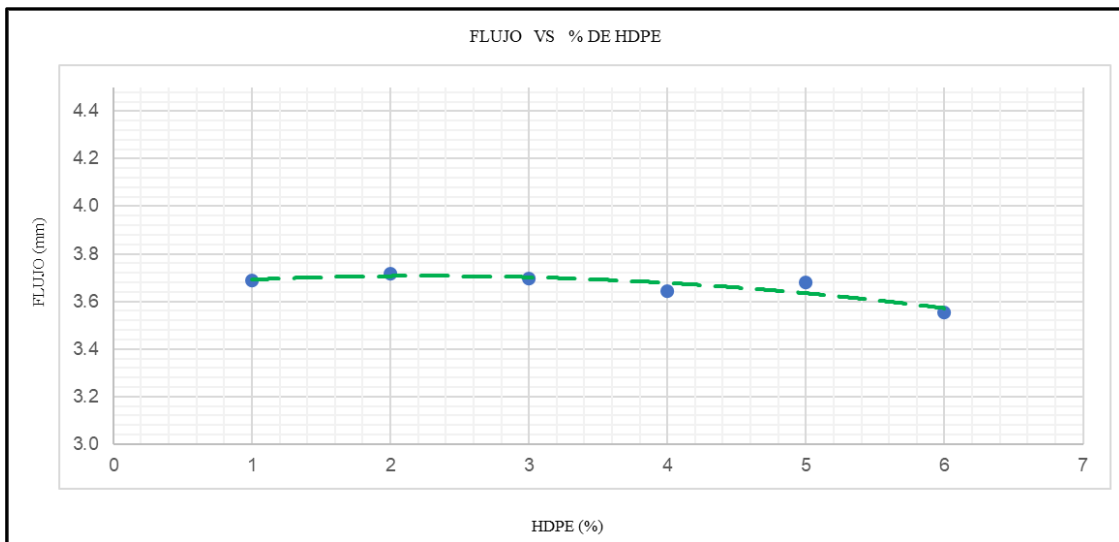


Figura 217: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 6% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia



3.6.5.11 Dosificación de mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido de asfalto del 6.5%, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 407: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.5%CA + 1,2,3%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 1% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	388.50	32.38%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	344.10	28.68%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	333.00	27.75%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.40	3.70%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%
HDPE	1.00%	12.00	1.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 2% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	384.30	32.03%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	340.38	28.37%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	329.40	27.45%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.92	3.66%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%
HDPE	2.00%	24.00	2.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 3% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	380.10	31.68%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	336.66	28.06%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	325.80	27.15%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.44	3.62%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%
HDPE	3.00%	36.00	3.00%

Fuente: Propia





Tabla 408: Dosificación de mezcla asfáltica con 6.5% de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 6.5%CA + 4,5,6%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 4% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	375.90	31.33%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	332.94	27.75%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	322.20	26.85%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.96	3.58%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%
HDPE	4.00%	48.00	4.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 5% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	371.70	30.98%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	329.22	27.44%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	318.60	26.55%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.48	3.54%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%
HDPE	5.00%	60.00	5.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 6% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	367.50	30.63%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	325.50	27.13%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	315.00	26.25%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.00	3.50%
ASFALTO PEN 85/100	6.50%	78.00	6.50%
HDPE	6.00%	72.00	6.00%

Fuente: Propia



3.6.5.12 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.
  - a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 409: Gravedad especifica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.5% - 1%HDPE	1198.90	1200.00	627.80	2.1
2 - 6.5% - 1%HDPE	1199.40	1202.20	629.40	2.09
3 - 6.5% - 1%HDPE	1199.50	1200.30	634.00	2.12
4 - 6.5% - 1%HDPE	1198.60	1201.10	631.90	2.11
5 - 6.5% - 1%HDPE	1198.30	1201.40	636.80	2.12
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.11</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.5% - 2%HDPE	1198.30	1199.60	625.40	2.09
2 - 6.5% - 2%HDPE	1198.70	1200.60	631.80	2.11
3 - 6.5% - 2%HDPE	1198.90	1199.40	630.60	2.11
4 - 6.5% - 2%HDPE	1199.10	1200.30	628.00	2.1
5 - 6.5% - 2%HDPE	1197.50	1199.80	629.80	2.1
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.1</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.5% - 3%HDPE	1198.60	1199.80	619.80	2.07
2 - 6.5% - 3%HDPE	1199.80	1200.50	612.20	2.04
3 - 6.5% - 3%HDPE	1199.00	1199.90	627.90	2.1
4 - 6.5% - 3%HDPE	1198.50	1200.40	621.00	2.07
5 - 6.5% - 3%HDPE	1198.80	1200.60	621.50	2.07
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.07</b>

Fuente: Propia



Tabla 410: Gravedad especifica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.5% - 4%HDPE	1192.90	1198.20	602.40	2
2 - 6.5% - 4%HDPE	1188.60	1191.60	599.60	2.01
3 - 6.5% - 4%HDPE	1188.40	1193.40	592.10	1.98
4 - 6.5% - 4%HDPE	1190.50	1195.40	593.70	1.98
5 - 6.5% - 4%HDPE	1192.60	1196.30	598.40	1.99
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.99</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.5% - 5%HDPE	1198.50	1201.10	605.10	2.01
2 - 6.5% - 5%HDPE	1195.50	1200.10	597.80	1.98
3 - 6.5% - 5%HDPE	1193.50	1200.80	596.40	1.97
4 - 6.5% - 5%HDPE	1196.90	1200.70	599.30	1.99
5 - 6.5% - 5%HDPE	1198.10	1200.60	598.70	1.99
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.99</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 6.5% - 6%HDPE	1190.90	1197.40	583.30	1.94
2 - 6.5% - 6%HDPE	1188.30	1196.90	565.00	1.88
3 - 6.5% - 6%HDPE	1186.70	1192.70	575.60	1.92
4 - 6.5% - 6%HDPE	1188.90	1194.70	562.60	1.88
5 - 6.5% - 6%HDPE	1186.20	1192.60	574.80	1.92
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.91</b>

Fuente: Propia



Tabla 411: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 6.5% - 1%HDPE	6.5	1	2.19
2 - 6.5% - 1%HDPE	6.5	1	2.19
3 - 6.5% - 1%HDPE	6.5	1	2.19
4 - 6.5% - 1%HDPE	6.5	1	2.19
5 - 6.5% - 1%HDPE	6.5	1	2.19
<b>PROBETA</b>			
1 - 6.5% - 2%HDPE	6.5	2	2.16
2 - 6.5% - 2%HDPE	6.5	2	2.16
3 - 6.5% - 2%HDPE	6.5	2	2.16
4 - 6.5% - 2%HDPE	6.5	2	2.16
5 - 6.5% - 2%HDPE	6.5	2	2.16
<b>PROBETA</b>			
1 - 6.5% - 3%HDPE	6.5	3	2.13
2 - 6.5% - 3%HDPE	6.5	3	2.13
3 - 6.5% - 3%HDPE	6.5	3	2.13
4 - 6.5% - 3%HDPE	6.5	3	2.13
5 - 6.5% - 3%HDPE	6.5	3	2.13

Fuente: Propia



Tabla 412: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 6.5% - 4%HDPE	6.5	4	2.09
2 - 6.5% - 4%HDPE	6.5	4	2.09
3 - 6.5% - 4%HDPE	6.5	4	2.09
4 - 6.5% - 4%HDPE	6.5	4	2.09
5 - 6.5% - 4%HDPE	6.5	4	2.09
<b>PROBETA</b>			
1 - 6.5% - 5%HDPE	6.5	5	2.06
2 - 6.5% - 5%HDPE	6.5	5	2.06
3 - 6.5% - 5%HDPE	6.5	5	2.06
4 - 6.5% - 5%HDPE	6.5	5	2.06
5 - 6.5% - 5%HDPE	6.5	5	2.06
<b>PROBETA</b>			
1 - 6.5% - 6%HDPE	6.5	6	2.03
2 - 6.5% - 6%HDPE	6.5	6	2.03
3 - 6.5% - 6%HDPE	6.5	6	2.03
4 - 6.5% - 6%HDPE	6.5	6	2.03
5 - 6.5% - 6%HDPE	6.5	6	2.03

Fuente: Propia



Tabla 413: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.5% - 1%HDPE	1.00	4.11	17.13	76.01
2 - 6.5% - 1%HDPE	1.00	4.57	17.53	73.93
3 - 6.5% - 1%HDPE	1.00	3.20	16.35	80.42
4 - 6.5% - 1%HDPE	1.00	3.65	16.74	78.20
5 - 6.5% - 1%HDPE	1.00	3.20	16.35	80.42
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.75</b>	<b>16.82</b>	<b>77.80</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6.5% - 2%HDPE	2.00	4.04	18.36	78.00
2 - 6.5% - 2%HDPE	2.00	3.31	17.58	81.17
3 - 6.5% - 2%HDPE	2.00	3.31	17.58	81.17
4 - 6.5% - 2%HDPE	2.00	3.78	17.97	78.97
5 - 6.5% - 2%HDPE	2.00	3.78	17.97	78.97
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.64</b>	<b>17.89</b>	<b>79.66</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6.5% - 3%HDPE	3.00	4.32	19.97	78.37
2 - 6.5% - 3%HDPE	3.00	4.23	21.13	79.98
3 - 6.5% - 3%HDPE	3.00	3.01	18.81	84.00
4 - 6.5% - 3%HDPE	3.00	3.82	19.97	80.87
5 - 6.5% - 3%HDPE	3.00	3.82	19.97	80.87
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.84</b>	<b>19.97</b>	<b>80.82</b>

Fuente: Propia



Tabla 414: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 6.5% - 4%HDPE	4.00	4.31	23.47	81.64
2 - 6.5% - 4%HDPE	4.00	3.83	23.09	83.41
3 - 6.5% - 4%HDPE	4.00	5.26	24.24	78.30
4 - 6.5% - 4%HDPE	4.00	5.26	24.24	78.30
5 - 6.5% - 4%HDPE	4.00	4.78	23.85	79.96
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.69</b>	<b>23.78</b>	<b>80.32</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6.5% - 5%HDPE	5.00	5.43	23.89	77.27
2 - 6.5% - 5%HDPE	5.00	5.88	25.03	76.50
3 - 6.5% - 5%HDPE	5.00	4.37	25.40	82.80
4 - 6.5% - 5%HDPE	5.00	5.40	24.65	78.09
5 - 6.5% - 5%HDPE	5.00	4.40	24.65	82.15
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.10</b>	<b>24.72</b>	<b>79.36</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 6.5% - 6%HDPE	6.00	4.93	27.31	81.95
2 - 6.5% - 6%HDPE	6.00	5.89	29.56	80.08
3 - 6.5% - 6%HDPE	6.00	5.42	28.06	80.69
4 - 6.5% - 6%HDPE	6.00	5.89	29.56	80.08
5 - 6.5% - 6%HDPE	6.00	5.42	28.06	80.69
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.51</b>	<b>28.51</b>	<b>80.70</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 415: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.488	2.509	INCORRECTO
2 - 6.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.488	2.509	INCORRECTO
3 - 6.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.488	2.509	INCORRECTO
4 - 6.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.488	2.509	INCORRECTO
5 - 6.5% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.488	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.449	2.509	INCORRECTO
2 - 6.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.449	2.509	INCORRECTO
3 - 6.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.449	2.509	INCORRECTO
4 - 6.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.449	2.509	INCORRECTO
5 - 6.5% - 2%HDPE	2	2.726	2.449	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.412	2.509	INCORRECTO
2 - 6.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.412	2.509	INCORRECTO
3 - 6.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.412	2.509	INCORRECTO
4 - 6.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.412	2.509	INCORRECTO
5 - 6.5% - 3%HDPE	3	2.726	2.412	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia





Tabla 416: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 6.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
2 - 6.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
3 - 6.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
4 - 6.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
5 - 6.5% - 4%HDPE	4	2.726	2.361	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
2 - 6.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
3 - 6.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
4 - 6.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
5 - 6.5% - 5%HDPE	5	2.726	2.324	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 6.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.287	2.509	INCORRECTO
2 - 6.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.287	2.509	INCORRECTO
3 - 6.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.287	2.509	INCORRECTO
4 - 6.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.287	2.509	INCORRECTO
5 - 6.5% - 6%HDPE	6	2.726	2.287	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



3.6.5.13 Análisis de ensayo de Flujo y Estabilidad de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con polietileno de alta densidad HDPE

1. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.

Tabla 417: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO
MUESTRA 1 (6.5% - 1%)	1076.68	0.96823	1042.47	3.85	2707.01
MUESTRA 2 (6.5% - 1%)	965.00	0.96108	927.44	3.73	2483.77
MUESTRA 3 (6.5% - 1%)	1429.75	0.93797	1341.06	3.86	3476.05
MUESTRA 4 (6.5% - 1%)	1362.40	0.95403	1299.77	3.83	3393.66
MUESTRA 5 (6.5% - 1%)	1284.90	0.94938	1219.86	3.88	3143.97
<b>Promedio</b>			<b>1166.12</b>	<b>3.83</b>	<b>3040.89</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6.5% - 2%)	1175.61	0.90749	1066.85	3.91	2732.01
MUESTRA 2 (6.5% - 2%)	1043.37	0.95170	992.98	4.26	2330.94
MUESTRA 3 (6.5% - 2%)	1251.42	0.97792	1223.79	3.97	3080.27
MUESTRA 4 (6.5% - 2%)	1467.24	0.94023	1379.54	3.95	3491.62
MUESTRA 5 (6.5% - 2%)	1387.53	0.96823	1343.45	3.93	3420.19
<b>Promedio</b>			<b>1201.32</b>	<b>4.00</b>	<b>3011.01</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6.5% - 3%)	1212.76	0.88507	1073.38	3.99	2688.15
MUESTRA 2 (6.5% - 3%)	1245.99	0.89509	1115.28	4.14	2695.22
MUESTRA 3 (6.5% - 3%)	1367.01	0.89105	1218.08	4.38	2782.28
MUESTRA 4 (6.5% - 3%)	1264.96	0.88905	1124.61	4.25	2646.14
MUESTRA 5 (6.5% - 3%)	1236.78	0.89105	1102.04	4.30	2562.88
<b>Promedio</b>			<b>1126.68</b>	<b>4.21</b>	<b>2674.93</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



Tabla 418: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 6.5% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD/ FLUJO
MUESTRA 1 (6.5% - 4%)	1236.86	0.87726	1085.05	4.64	2338.97
MUESTRA 2 (6.5% - 4%)	1268.54	0.87533	1110.39	4.44	2503.70
MUESTRA 3 (6.5% - 4%)	1328.34	0.87151	1342.72	4.78	2810.22
MUESTRA 4 (6.5% - 4%)	1022.86	0.88507	905.31	4.68	1933.60
MUESTRA 5 (6.5% - 4%)	1163.49	0.86962	1011.79	4.72	2143.17
<b>Promedio</b>			<b>1091.05</b>	<b>4.65</b>	<b>2345.93</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6.5% - 5%)	1368.90	0.87920	1203.53	4.70	2559.07
MUESTRA 2 (6.5% - 5%)	1264.86	0.87920	1112.06	4.83	2303.83
MUESTRA 3 (6.5% - 5%)	1607.36	0.87151	1400.84	4.92	2845.50
MUESTRA 4 (6.5% - 5%)	1373.35	0.87920	1207.44	4.79	2520.75
MUESTRA 5 (6.5% - 5%)	1289.75	0.88507	1141.52	4.75	2403.20
<b>Promedio</b>			<b>1213.08</b>	<b>4.80</b>	<b>2526.47</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (6.5% - 6%)	1528.65	0.86962	1329.35	5.13	2589.31
MUESTRA 2 (6.5% - 6%)	1105.27	0.87151	963.26	5.05	1905.94
MUESTRA 3 (6.5% - 6%)	1378.95	0.87533	1207.04	5.11	2363.04
MUESTRA 4 (6.5% - 6%)	1449.73	0.88114	1277.42	5.12	2494.96
MUESTRA 5 (6.5% - 6%)	1794.47	0.87151	1563.91	5.11	3063.49
<b>Promedio</b>			<b>1268.20</b>	<b>5.10</b>	<b>2483.35</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



### Porcentajes de adición de HDPE en la mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico

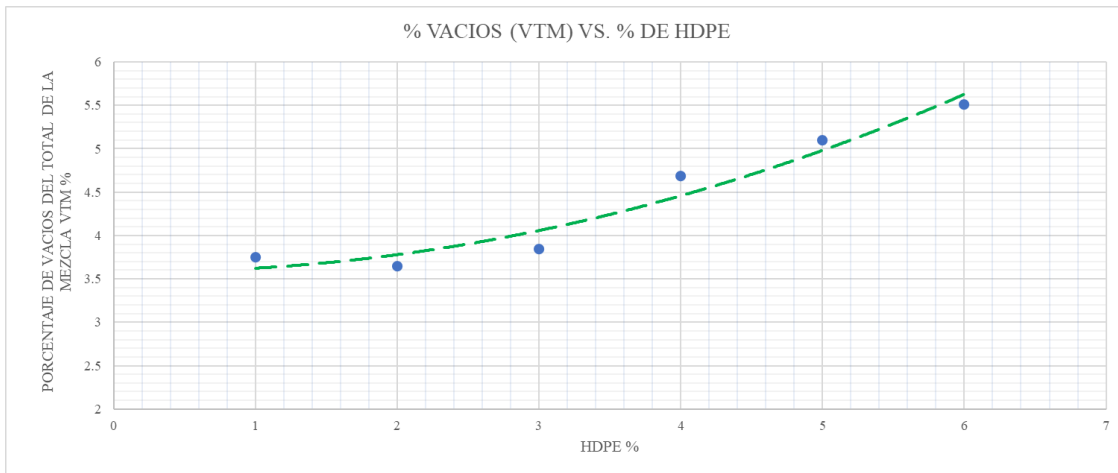


Figura 218: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia



Figura 219: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

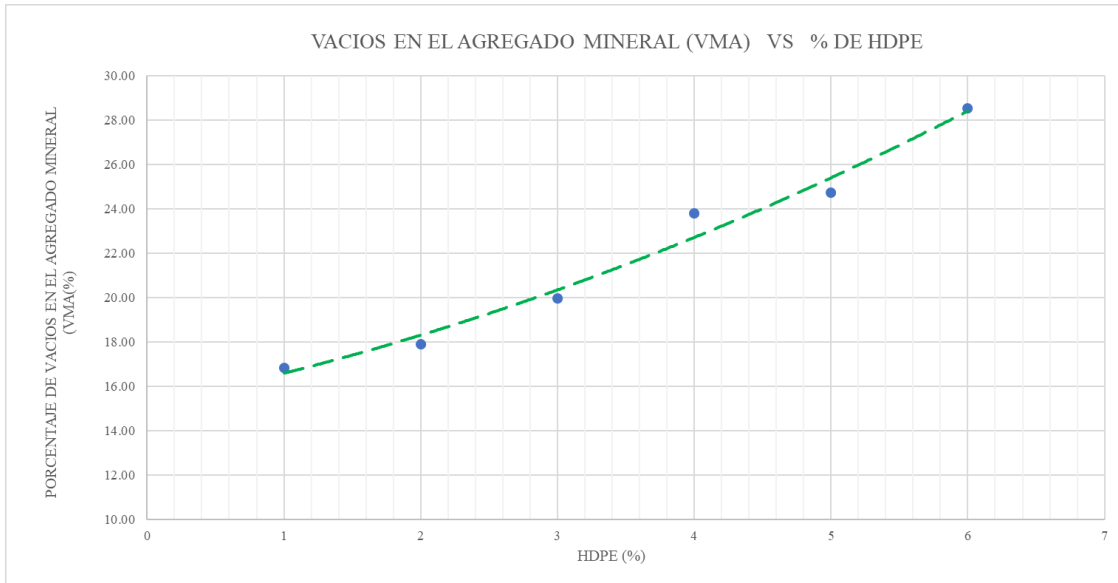


Figura 220: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

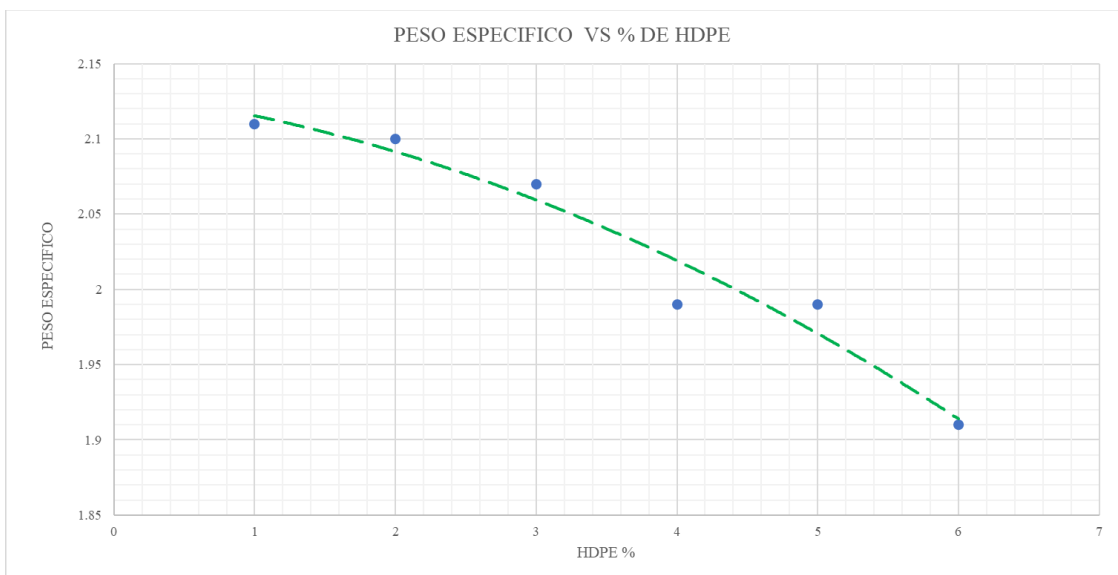


Figura 221: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

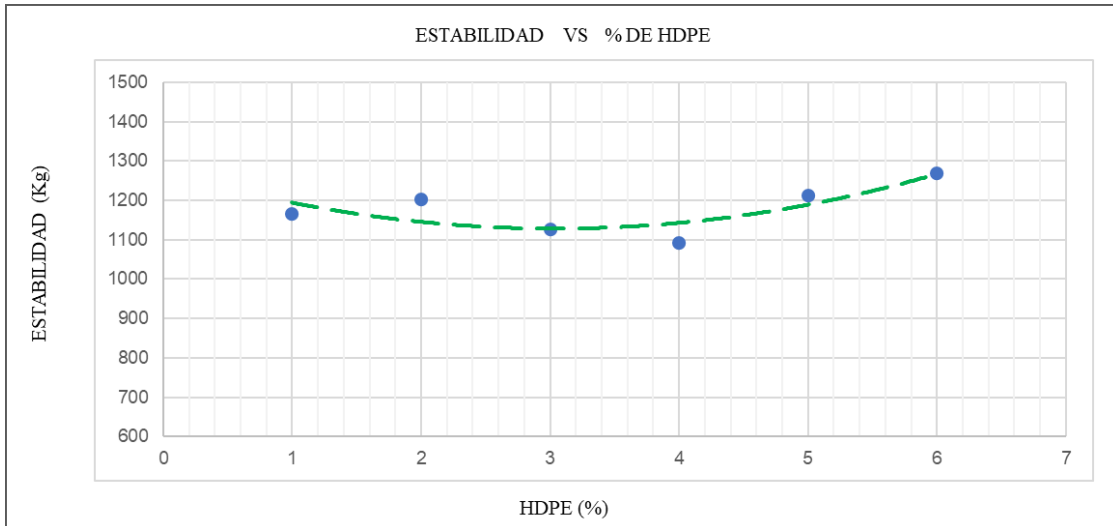


Figura 222: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

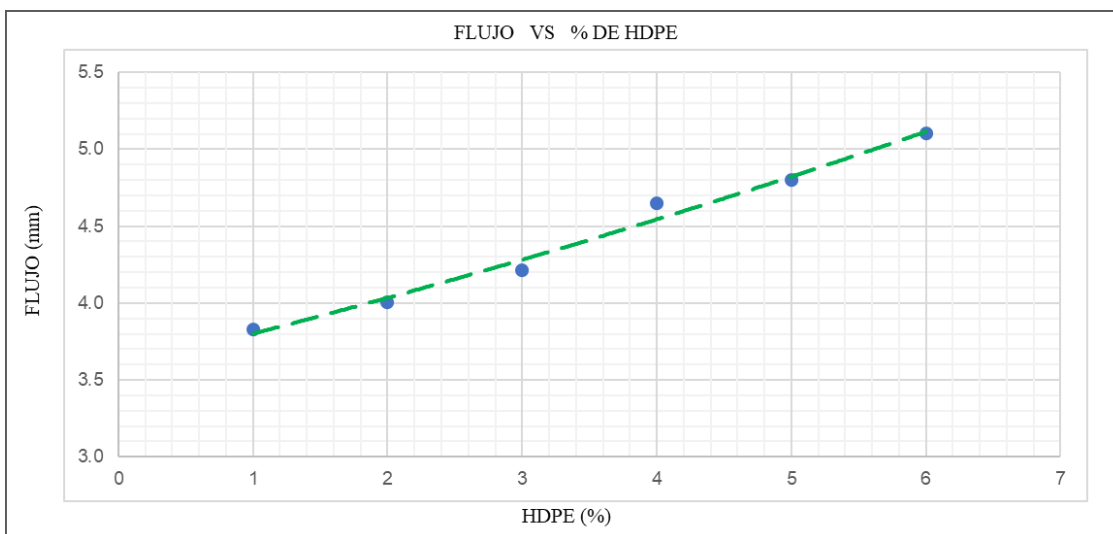


Figura 223: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 6.5% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia



3.6.5.14 Dosificación de mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Dosificación de mezclas asfálticas con contenido de asfalto del 7%, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.

a) Cálculo de la Dosificación

Tabla 419: Dosificación de mezcla asfáltica con 7% de asfalto adicionada con 1%, 2% y 3% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 7%CA + 1,2,3%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 1% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	386.40	32.20%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	342.24	28.52%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	331.20	27.60%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	44.16	3.68%
ASFALTO PEN 85/100	7.00%	84.00	7.00%
HDPE	1.00%	12.00	1.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 2% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	382.20	31.85%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	338.52	28.21%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	327.60	27.30%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.68	3.64%
ASFALTO PEN 85/100	7.00%	84.00	7.00%
HDPE	2.00%	24.00	2.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 3% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	378.00	31.50%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	334.80	27.90%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	324.00	27.00%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	43.20	3.60%
ASFALTO PEN 85/100	7.00%	84.00	7.00%
HDPE	3.00%	36.00	3.00%

Fuente: Propia



Tabla 420: Dosificación de mezcla asfáltica con 7% de asfalto adicionada con 4%, 5% y 6% de HDPE.

MATERIAL	PORCENTAJE DE LOS MATERIALES (%) 100%Agre. + 7%CA + 4,5,6%HDPE	PESO EN GRAMOS (gr.)	PORCENTAJE DEL PESO RESPECTO AL % DE ASFALTO 100% Mezcla Asf.
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 4% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	373.80	31.15%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	331.08	27.59%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	320.40	26.70%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.72	3.56%
ASFALTO PEN 85/100	7.00%	84.00	7.00%
HDPE	4.00%	48.00	4.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 5% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	369.60	30.80%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	327.36	27.28%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	316.80	26.40%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	42.24	3.52%
ASFALTO PEN 85/100	7.00%	84.00	7.00%
HDPE	5.00%	60.00	5.00%
<b>Mezcla asfáltica adicionada con 6% de HDPE</b>			
TOTAL DE AGREGADOS	100.00%	1200.00	100.00%
% A. FINO MORRO BLANCO	35.00%	365.40	30.45%
% A. FINO CUNYAC	31.00%	323.64	26.97%
% A. GRUESO MORRO BLANCO	30.00%	313.20	26.10%
% FILLER PORTLAND I	4.00%	41.76	3.48%
ASFALTO PEN 85/100	7.00%	84.00	7.00%
HDPE	6.00%	72.00	6.00%

Fuente: Propia





3.6.5.15 Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con Polietileno de alta densidad HDPE.

1. Análisis de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.
  - a) Cálculo de parámetros volumétricos.

Tabla 421: Gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 7% - 1%HDPE	1188.00	1188.70	622.40	2.1
2 - 7% - 1%HDPE	1188.40	1189.20	623.90	2.1
3 - 7% - 1%HDPE	1189.30	1190.10	617.90	2.08
4 - 7% - 1%HDPE	1191.40	1192.00	622.00	2.09
5 - 7% - 1%HDPE	1189.50	1190.20	622.40	2.09
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.09</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 7% - 2%HDPE	1189.80	1190.00	615.70	2.07
2 - 7% - 2%HDPE	1188.70	1189.90	614.00	2.06
3 - 7% - 2%HDPE	1191.20	1192.50	617.00	2.07
4 - 7% - 2%HDPE	1191.60	1192.90	616.20	2.07
5 - 7% - 2%HDPE	1189.60	1191.60	615.70	2.07
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.07</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 7% - 3%HDPE	1197.50	1198.80	622.10	2.08
2 - 7% - 3%HDPE	1197.90	1199.10	624.00	2.08
3 - 7% - 3%HDPE	1199.20	1201.10	621.70	2.07
4 - 7% - 3%HDPE	1198.60	1199.50	619.00	2.06
5 - 7% - 3%HDPE	1197.90	1199.20	620.80	2.07
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.07</b>

Fuente: Propia



Tabla 422: Gravedad especifica bulk de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 7% - 4%HDPE	1188.80	1189.40	604.50	2.03
2 - 7% - 4%HDPE	1188.50	1189.90	605.00	2.03
3 - 7% - 4%HDPE	1192.60	1194.20	606.40	2.03
4 - 7% - 4%HDPE	1189.90	1191.90	607.90	2.04
5 - 7% - 4%HDPE	1190.70	1192.10	606.30	2.03
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.03</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 7% - 5%HDPE	1188.20	1189.50	597.60	2.01
2 - 7% - 5%HDPE	1189.10	1190.30	599.70	2.01
3 - 7% - 5%HDPE	1188.40	1189.70	597.90	2.01
4 - 7% - 5%HDPE	1191.50	1192.20	602.00	2.02
5 - 7% - 5%HDPE	1190.10	1191.60	601.00	2.02
<b>PROMEDIO</b>				<b>2.01</b>
PROBETA	Wd	Wssd	Wsumergido	Gmb
1 - 7% - 6%HDPE	1191.70	1192.30	587.20	1.97
2 - 7% - 6%HDPE	1193.80	1194.40	589.50	1.97
3 - 7% - 6%HDPE	1191.60	1192.30	589.00	1.98
4 - 7% - 6%HDPE	1193.30	1194.10	590.90	1.98
5 - 7% - 6%HDPE	1195.30	1196.60	592.00	1.98
<b>PROMEDIO</b>				<b>1.98</b>

Fuente: Propia



Tabla 423: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 7% - 1%HDPE	7.0	1	2.18
2 - 7% - 1%HDPE	7.0	1	2.18
3 - 7% - 1%HDPE	7.0	1	2.18
4 - 7% - 1%HDPE	7.0	1	2.18
5 - 7% - 1%HDPE	7.0	1	2.18
<b>PROBETA</b>			
1 - 7% - 2%HDPE	7.0	2	2.15
2 - 7% - 2%HDPE	7.0	2	2.15
3 - 7% - 2%HDPE	7.0	2	2.15
4 - 7% - 2%HDPE	7.0	2	2.15
5 - 7% - 2%HDPE	7.0	2	2.15
<b>PROBETA</b>			
1 - 7% - 3%HDPE	7.0	3	2.12
2 - 7% - 3%HDPE	7.0	3	2.12
3 - 7% - 3%HDPE	7.0	3	2.12
4 - 7% - 3%HDPE	7.0	3	2.12
5 - 7% - 3%HDPE	7.0	3	2.12

Fuente: Propia



Tabla 424: Gravedad específica teórica máxima Rice de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% DE ASFALTO	% DE HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICO MAXIMO
<b>PROBETA</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>Gmm</b>
1 - 7% - 4%HDPE	7.0	4	2.09
2 - 7% - 4%HDPE	7.0	4	2.09
3 - 7% - 4%HDPE	7.0	4	2.09
4 - 7% - 4%HDPE	7.0	4	2.09
5 - 7% - 4%HDPE	7.0	4	2.09
<b>PROBETA</b>			
1 - 7% - 5%HDPE	7.0	5	2.06
2 - 7% - 5%HDPE	7.0	5	2.06
3 - 7% - 5%HDPE	7.0	5	2.06
4 - 7% - 5%HDPE	7.0	5	2.06
5 - 7% - 5%HDPE	7.0	5	2.06
<b>PROBETA</b>			
1 - 7% - 6%HDPE	7.0	6	2.04
2 - 7% - 6%HDPE	7.0	6	2.04
3 - 7% - 6%HDPE	7.0	6	2.04
4 - 7% - 6%HDPE	7.0	6	2.04
5 - 7% - 6%HDPE	7.0	6	2.04

Fuente: Propia



Tabla 425: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 7% - 1%HDPE	1.00	3.67	17.13	78.58
2 - 7% - 1%HDPE	1.00	3.67	17.13	78.58
3 - 7% - 1%HDPE	1.00	3.59	17.92	79.97
4 - 7% - 1%HDPE	1.00	3.13	17.53	82.14
5 - 7% - 1%HDPE	1.00	3.13	17.53	82.14
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.44</b>	<b>17.45</b>	<b>80.28</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 7% - 2%HDPE	2.00	3.72	19.14	80.57
2 - 7% - 2%HDPE	2.00	4.19	19.53	78.55
3 - 7% - 2%HDPE	2.00	3.72	19.14	80.57
4 - 7% - 2%HDPE	2.00	3.72	19.14	80.57
5 - 7% - 2%HDPE	2.00	3.72	19.14	80.57
<b>PROMEDIO</b>		<b>3.81</b>	<b>19.22</b>	<b>80.16</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 7% - 3%HDPE	3.00	3.89	19.58	80.13
2 - 7% - 3%HDPE	3.00	3.89	19.58	80.13
3 - 7% - 3%HDPE	3.00	4.36	19.97	78.17
4 - 7% - 3%HDPE	3.00	4.83	20.35	76.27
5 - 7% - 3%HDPE	3.00	4.36	19.97	78.17
<b>PROMEDIO</b>		<b>4.27</b>	<b>19.89</b>	<b>78.57</b>

Fuente: Propia



Tabla 426: Porcentaje total de vacíos (VTM), vacíos del agregado mineral (VMA) y vacíos con asfalto (VFA) de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	PROCENTAJES DE VACIOS EN EL TOTAL DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL	PORCENTAJE DE VACIOS CON ASFALTO
PROBETA	%	VTM	VMA	VFA
1 - 7% - 4%HDPE	4.00	5.87	22.32	73.71
2 - 7% - 4%HDPE	4.00	5.87	22.32	73.71
3 - 7% - 4%HDPE	4.00	5.87	22.32	73.71
4 - 7% - 4%HDPE	4.00	5.39	21.94	75.43
5 - 7% - 4%HDPE	4.00	2.87	22.32	87.14
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.17</b>	<b>22.25</b>	<b>76.74</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 7% - 5%HDPE	5.00	5.43	23.89	77.27
2 - 7% - 5%HDPE	5.00	5.43	23.89	77.27
3 - 7% - 5%HDPE	5.00	5.43	23.89	77.27
4 - 7% - 5%HDPE	5.00	4.94	23.51	78.99
5 - 7% - 5%HDPE	5.00	4.94	23.51	78.99
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.23</b>	<b>23.74</b>	<b>77.96</b>
<b>PROBETA</b>				
1 - 7% - 6%HDPE	6.00	6.43	26.19	75.45
2 - 7% - 6%HDPE	6.00	6.43	26.19	75.45
3 - 7% - 6%HDPE	6.00	5.94	25.82	76.99
4 - 7% - 6%HDPE	6.00	5.94	25.82	76.99
5 - 7% - 6%HDPE	6.00	5.94	25.82	76.99
<b>PROMEDIO</b>		<b>6.14</b>	<b>25.97</b>	<b>76.37</b>

Fuente: Propia



b) Verificación de gravedades

Tabla 427: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 7% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.462	2.509	INCORRECTO
2 - 7% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.462	2.509	INCORRECTO
3 - 7% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.462	2.509	INCORRECTO
4 - 7% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.462	2.509	INCORRECTO
5 - 7% - 1%HDPE	1.0	2.726	2.462	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 7% - 2%HDPE	2	2.726	2.424	2.509	INCORRECTO
2 - 7% - 2%HDPE	2	2.726	2.424	2.509	INCORRECTO
3 - 7% - 2%HDPE	2	2.726	2.424	2.509	INCORRECTO
4 - 7% - 2%HDPE	2	2.726	2.424	2.509	INCORRECTO
5 - 7% - 2%HDPE	2	2.726	2.424	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 7% - 3%HDPE	3	2.726	2.385	2.509	INCORRECTO
2 - 7% - 3%HDPE	3	2.726	2.385	2.509	INCORRECTO
3 - 7% - 3%HDPE	3	2.726	2.385	2.509	INCORRECTO
4 - 7% - 3%HDPE	3	2.726	2.385	2.509	INCORRECTO
5 - 7% - 3%HDPE	3	2.726	2.385	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia



Tabla 428: Verificación de parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	% HDPE	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	VERIFICACION
PROBETA	%	Gsa	Gse	Gsb	Gsa > Gse > Gsb
1 - 7% - 4%HDPE	4	2.726	2.347	2.509	INCORRECTO
2 - 7% - 4%HDPE	4	2.726	2.347	2.509	INCORRECTO
3 - 7% - 4%HDPE	4	2.726	2.347	2.509	INCORRECTO
4 - 7% - 4%HDPE	4	2.726	2.347	2.509	INCORRECTO
5 - 7% - 4%HDPE	4	2.726	2.347	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 7% - 5%HDPE	5	2.726	2.309	2.509	INCORRECTO
2 - 7% - 5%HDPE	5	2.726	2.309	2.509	INCORRECTO
3 - 7% - 5%HDPE	5	2.726	2.309	2.509	INCORRECTO
4 - 7% - 5%HDPE	5	2.726	2.309	2.509	INCORRECTO
5 - 7% - 5%HDPE	5	2.726	2.309	2.509	INCORRECTO
<b>PROBETA</b>					
1 - 7% - 6%HDPE	6	2.726	2.283	2.509	INCORRECTO
2 - 7% - 6%HDPE	6	2.726	2.283	2.509	INCORRECTO
3 - 7% - 6%HDPE	6	2.726	2.283	2.509	INCORRECTO
4 - 7% - 6%HDPE	6	2.726	2.283	2.509	INCORRECTO
5 - 7% - 6%HDPE	6	2.726	2.283	2.509	INCORRECTO

Fuente: Propia





3.6.5.16 Análisis de ensayo de Flujo y Estabilidad de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con polietileno de alta densidad HDPE

1. Ensayos de Flujo y Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% de HDPE.

Tabla 429: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 1%, 2% y 3% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD /FLUJO
MUESTRA 1 (7% - 1%)	1093.00	1.04526	1142.47	4.19	2726.66
MUESTRA 2 (7% - 1%)	1138.37	1.04852	1193.60	4.26	2804.51
MUESTRA 3 (7% - 1%)	1236.35	1.01725	1257.68	4.36	2881.94
MUESTRA 4 (7% - 1%)	1085.37	0.98726	1071.54	4.17	2572.11
MUESTRA 5 (7% - 1%)	1025.70	0.99960	1025.29	4.21	2437.68
<b>Promedio</b>			<b>1138.12</b>	<b>4.24</b>	<b>2684.58</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (7% - 2%)	1324.05	0.97275	1287.97	4.13	3116.31
MUESTRA 2 (7% - 2%)	1108.60	0.99217	1099.92	4.36	2522.75
MUESTRA 3 (7% - 2%)	1250.36	0.96798	1210.32	4.13	2933.40
MUESTRA 4 (7% - 2%)	1136.65	0.97515	1108.40	4.16	2666.99
MUESTRA 5 (7% - 2%)	1165.80	0.96325	1122.96	4.11	2730.27
<b>Promedio</b>			<b>1165.91</b>	<b>4.18</b>	<b>2793.94</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (7% - 3%)	1123.01	0.88415	992.91	4.05	2451.63
MUESTRA 2 (7% - 3%)	1450.65	0.92889	1347.50	4.14	3254.83
MUESTRA 3 (7% - 3%)	1390.64	0.89863	1249.67	4.16	3004.01
MUESTRA 4 (7% - 3%)	1258.36	0.93336	1174.51	4.20	2796.45
MUESTRA 5 (7% - 3%)	1354.65	0.90710	1228.80	4.19	2932.70
<b>Promedio</b>			<b>1198.68</b>	<b>4.15</b>	<b>2887.92</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>

Fuente: Propia



Tabla 430: Flujo, Estabilidad y Relación Estabilidad - Flujo Marshall de las mezclas asfálticas con contenido del 7% de cemento asfáltico, adicionado con 4%, 5% y 6% de HDPE.

NUMERO DE MUESTRA	ESTABILIDAD	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO (MM)	RELACION ESTABILIDAD /FLUJO
MUESTRA 1 (7% - 4%)	1253.03	0.92889	1163.93	4.10	2838.85
MUESTRA 2 (7% - 4%)	1356.10	0.92667	1256.67	4.06	3095.25
MUESTRA 3 (7% - 4%)	1296.63	0.91571	1342.72	4.12	3259.04
MUESTRA 4 (7% - 4%)	1456.65	0.93112	1356.32	4.00	3390.80
MUESTRA 5 (7% - 4%)	1536.46	0.90924	1397.01	4.16	3358.20
<b>Promedio</b>			<b>1303.33</b>	<b>4.09</b>	<b>3188.43</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (7% - 5%)	1801.67	0.89863	1619.04	3.87	4183.57
MUESTRA 2 (7% - 5%)	1586.70	0.89863	1425.86	3.56	4005.22
MUESTRA 3 (7% - 5%)	1686.46	0.91139	1537.02	3.70	4154.11
MUESTRA 4 (7% - 5%)	1780.36	0.89445	1592.45	3.46	4602.46
MUESTRA 5 (7% - 5%)	1569.70	0.89863	1410.58	3.58	3940.17
<b>Promedio</b>			<b>1516.99</b>	<b>3.63</b>	<b>4177.10</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>NO CUMPLE</b>
MUESTRA 1 (7% - 6%)	2153.02	0.86814	1869.12	3.40	5497.41
MUESTRA 2 (7% - 6%)	1968.63	0.87808	1728.62	3.20	5401.94
MUESTRA 3 (7% - 6%)	1836.69	0.88824	1631.43	3.36	4855.45
MUESTRA 4 (7% - 6%)	2002.37	0.87011	1742.27	3.01	5788.27
MUESTRA 5 (7% - 6%)	1789.70	0.87607	1567.91	4.40	3563.43
<b>Promedio</b>			<b>1707.87</b>	<b>3.47</b>	<b>5021.30</b>
<b>Condición 1700 - 4000</b>					<b>NO CUMPLE</b>

Fuente: Propia



### Porcentajes de adición de HDPE en la mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico

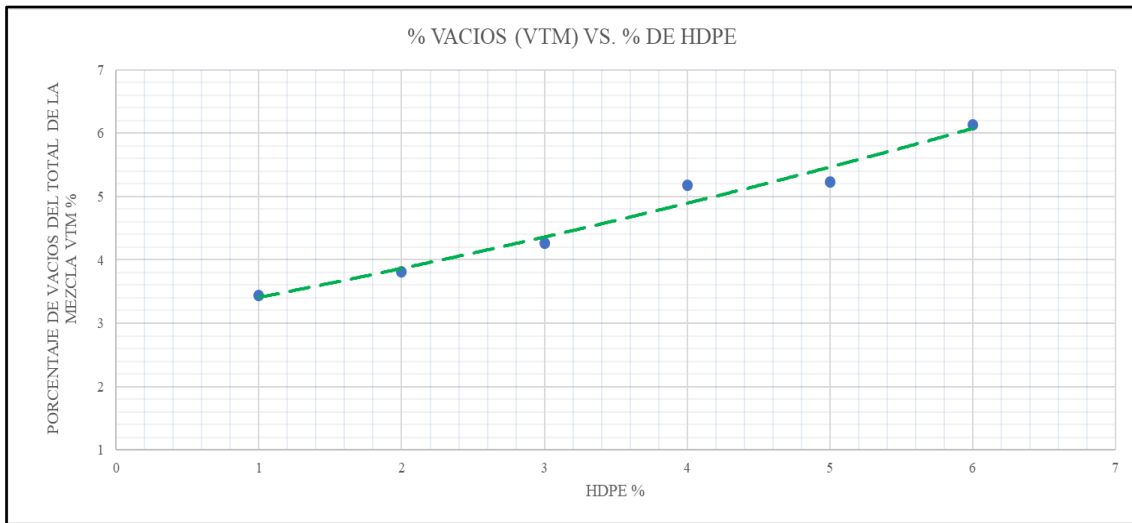


Figura 224: Valores del porcentaje de vacíos del total de la mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

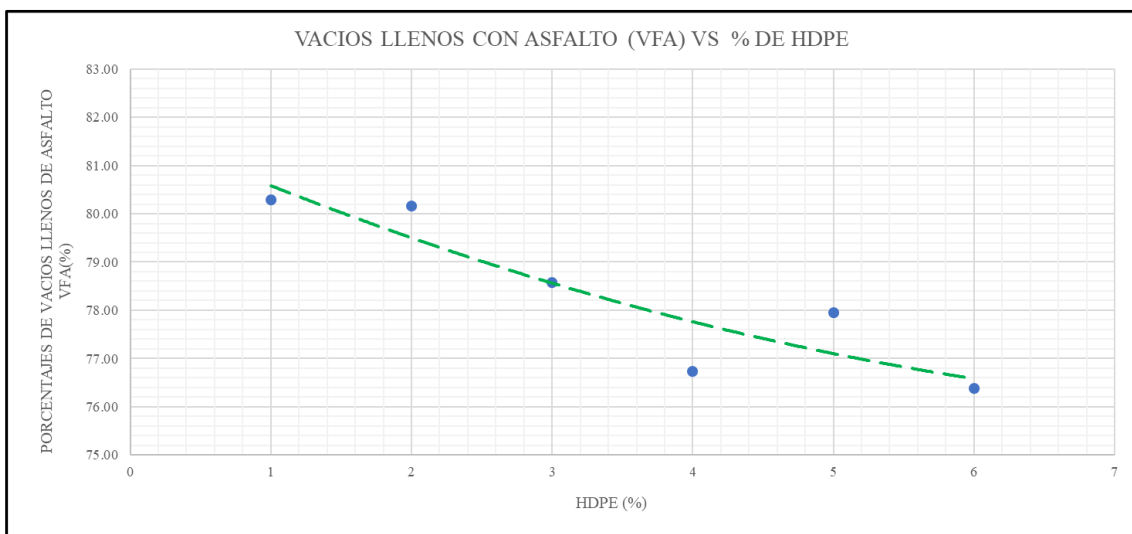


Figura 225: Valores del porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

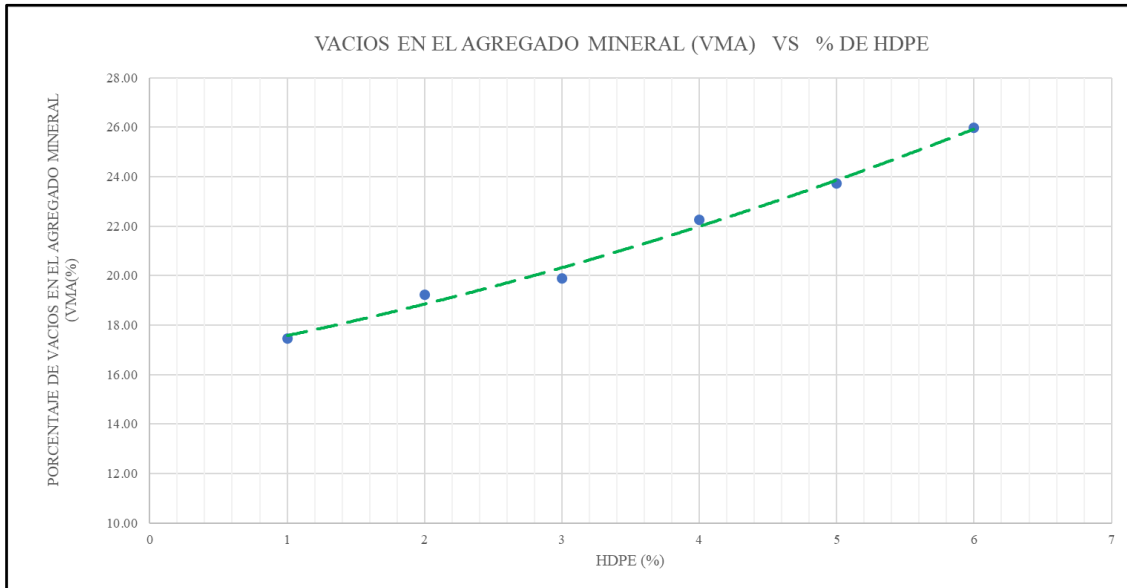


Figura 226: Valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

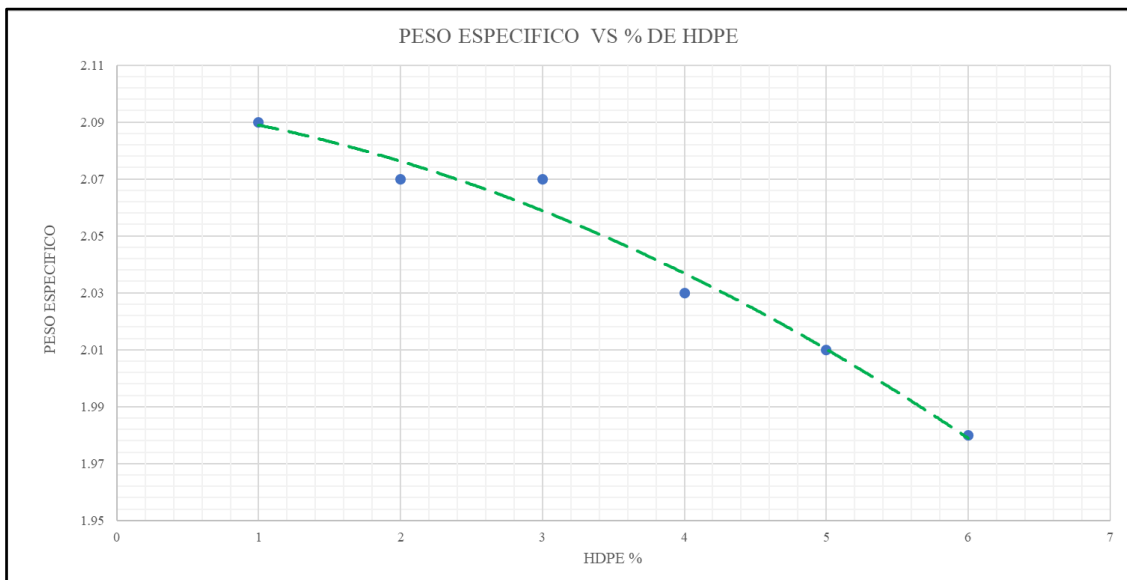


Figura 227: Valores del peso específico para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

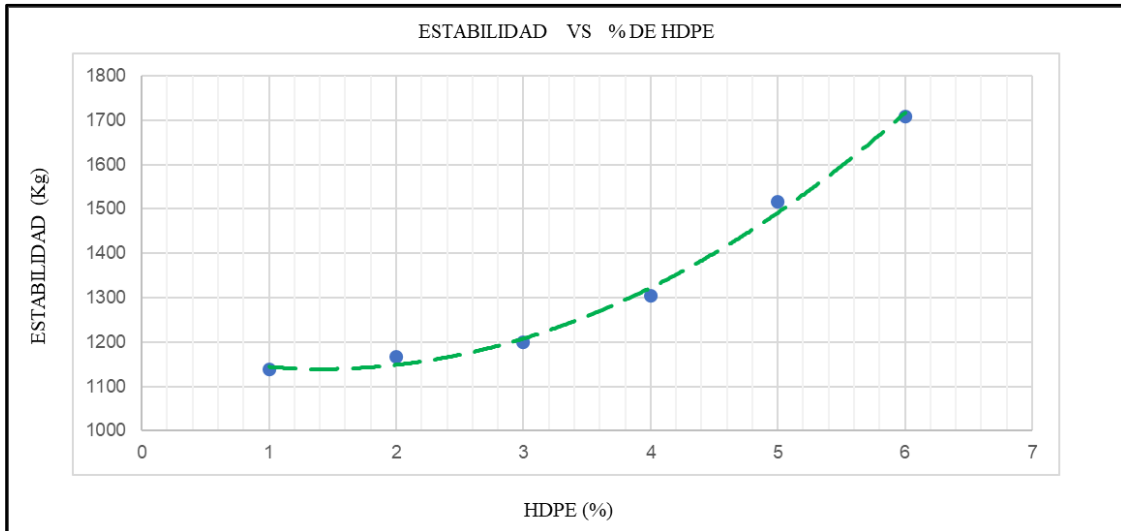


Figura 228: Valores de la Estabilidad para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia

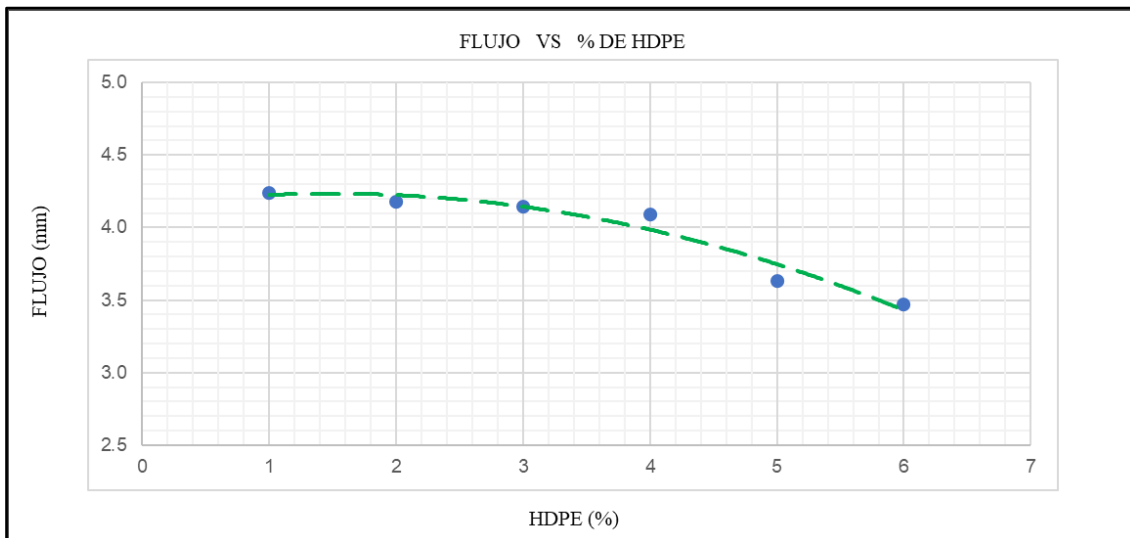


Figura 229: Valores de Flujo para una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico adicionado con HDPE

Fuente: Propia



## Capítulo IV: Resultados

### 4.1 Control de Calidad

#### 4.1.1 Control de calidad del agregado grueso

##### a) Tabla de resultados

*Tabla 431: Resultados de control de calidad del agregado grueso (Piedra chancada de Morro Blanco)*

ENSAYO	NORMATIVA DEL ENSAYO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE.010	RESULTADO OBTENIDO
ABSORCIÓN	MTC E 206	1.0% Máx.	Según Diseño	0.88%
ABRASION DE LOS ANGELES	MTC E 207	35% Máx.	35% Máx.	21.4%
PARTICULAS FRACTURADAS	MTC E 210	90/70 Min.	-	97.48/89.27
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		10% Máx.	15% Máx.	2%/6.66%
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	MTC E 209	15% Máx.	15% Máx.	8.22%

Fuente: Propia

##### b) Análisis de resultados

Como se observa en la Tabla 9, el agregado grueso cumple con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).



#### 4.1.2 Control de calidad de los agregados finos

##### a) Tabla de resultados

Tabla 432: Resultados de control de calidad del agregado fino (Arena Triturada de Morro Blanco)

ENSAYO	NORMATIVA DEL ENSAYO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE.010	RESULTADO OBTENIDO
ABSORCIÓN	MTC E 205	0.5% Max	Según Diseño	1.88%
INDICE DE PLASTICIDAD	MTC E 111	NP	NP	NP
EQUIVALENTE DE ARENA	MTC E 114	70% Min.	50% Min.	56%
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	MTC E 209	18% Máx.	-	10.77%

Fuente: Propia

Tabla 433: Resultados de control de calidad del agregado fino (Arena Natural de Cunyac)

ENSAYO	NORMATIVA DEL ENSAYO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE.010	RESULTADO OBTENIDO
ABSORCIÓN	MTC E 205	0.5% Max	Según Diseño	1.85%
INDICE DE PLASTICIDAD	MTC E 111	NP	NP	NP
EQUIVALENTE DE ARENA	MTC E 114	70% Min.	50% Min.	80%
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	MTC E 209	18% Máx.	-	5.37%

Fuente: Propia

##### b) Análisis de resultados

Como se observa en la Tabla 11, los agregados finos (Arena triturada de Morro Blanco y Arena natural de Cunyac) cumplen con los requerimientos a excepción de la absorción indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)



#### 4.1.3 Control de calidad del cemento asfáltico

##### a) Tabla de resultados

Tabla 434: Resultados de control de calidad del cemento asfáltico PEN 85/100

ENSAYO	NORMATIVA DEL ENSAYO	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE.010	RESULTADO OBTENIDO
PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	MTC E 304	85Min. - 100Máx.	-	97.56

Resultados de control de calidad del cemento asfáltico PEN 85/100

Fuente: Propia

##### b) Análisis de resultados

Como se observa en la Tabla 13, el cemento asfáltico PEN 85/100 cumple con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

#### 4.1.4 Control de calidad de la mezcla asfáltica convencional y de la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado

##### 4.1.4.1 Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica con porcentaje óptimo

##### a) Tabla de resultados

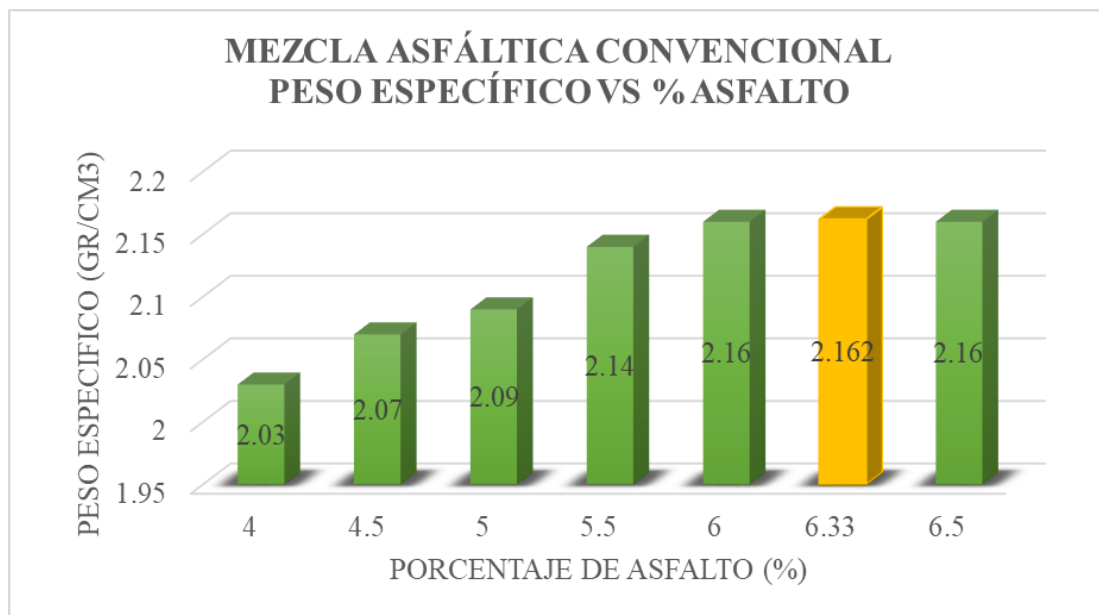


Figura 230: Variación del peso específico de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto





Fuente: Propia

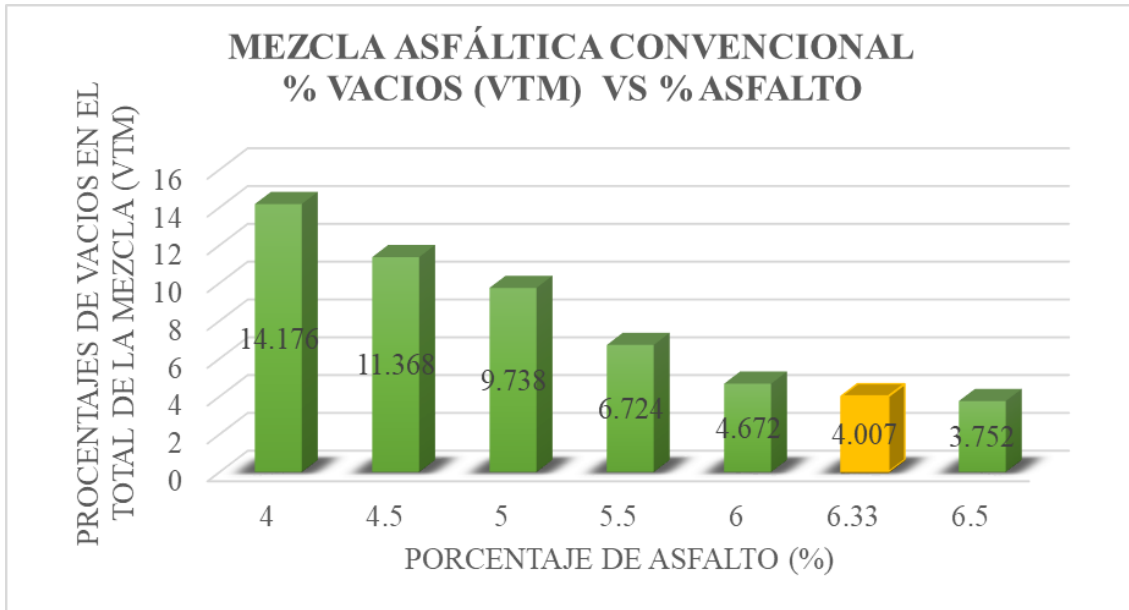


Figura 231: Variación del VTM de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

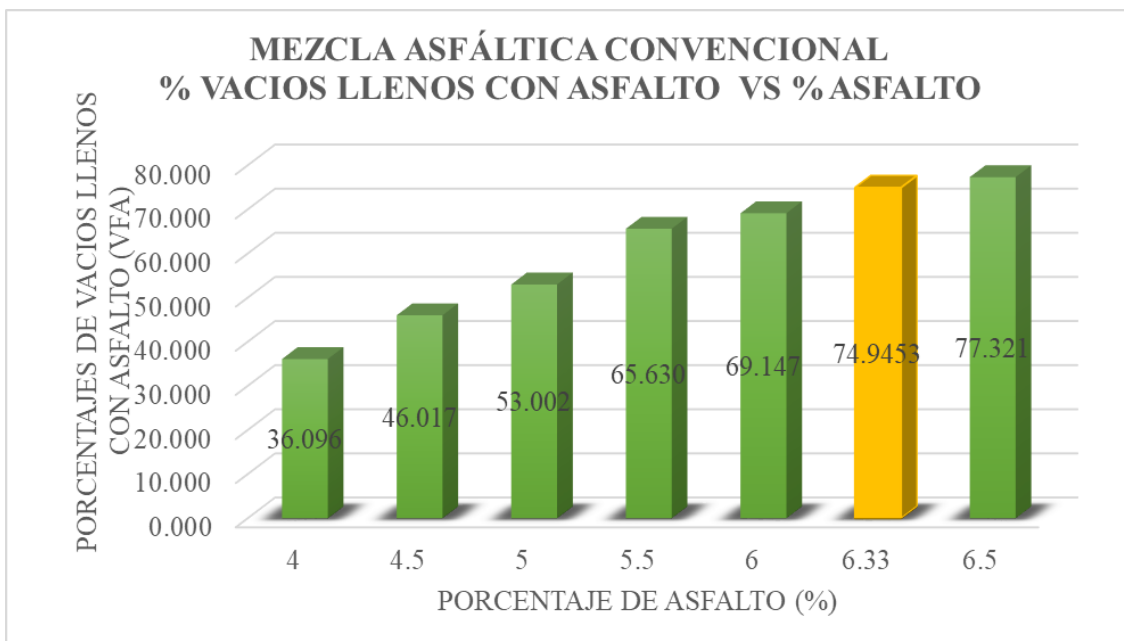


Figura 232: Variación del VFA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

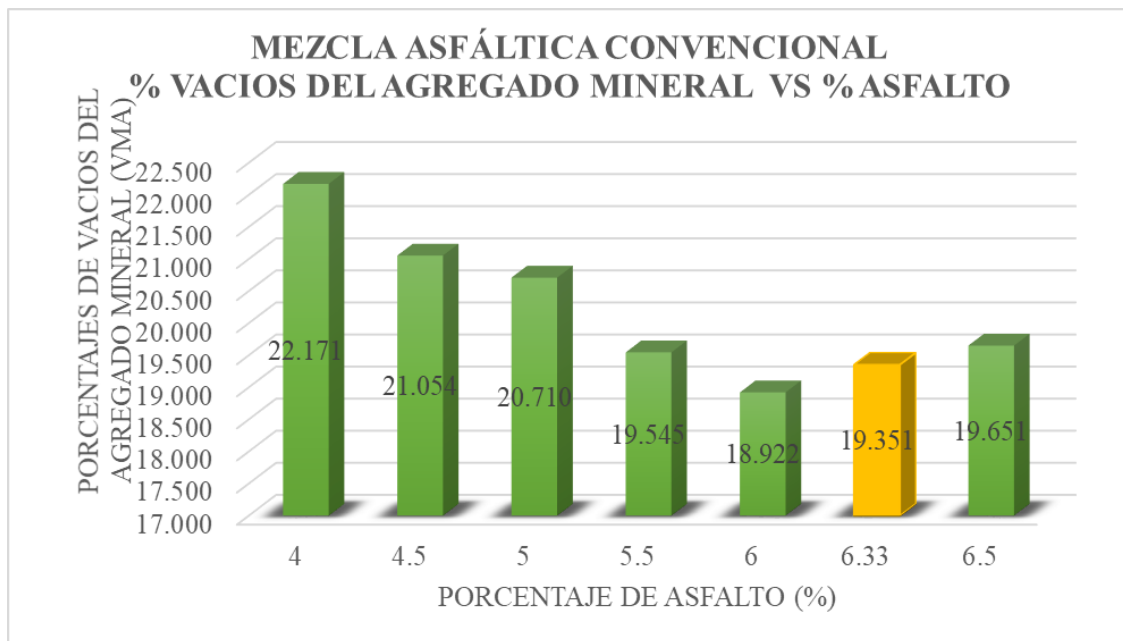


Figura 233: Variación del VMA de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

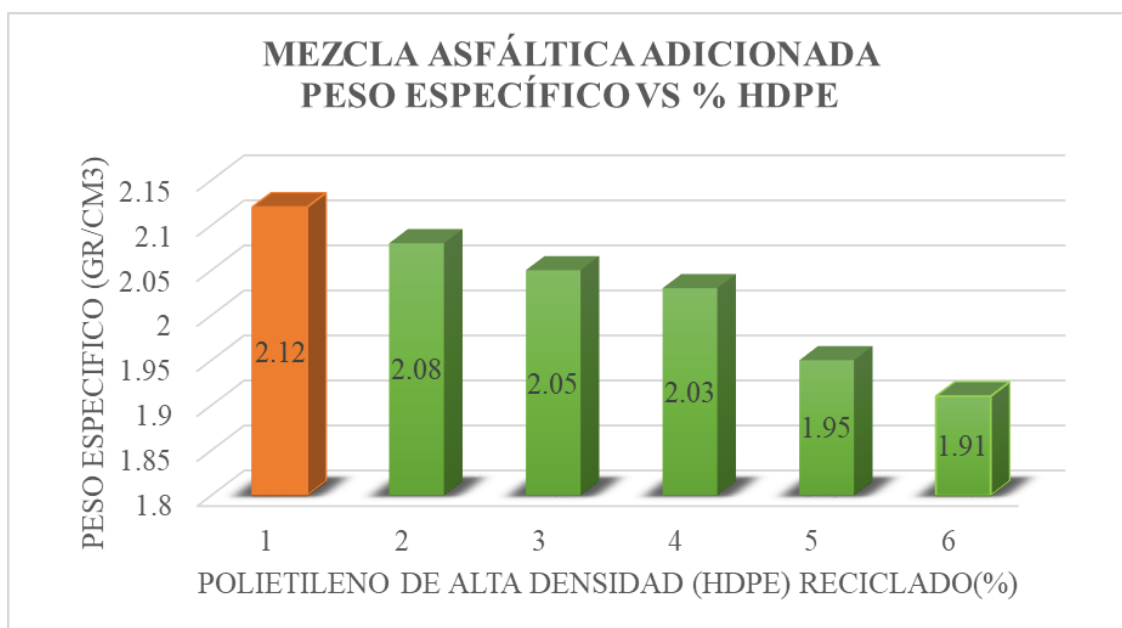


Figura 234: Variación del peso específico de las mezclas asfálticas con porcentaje óptimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE

Fuente: Propia

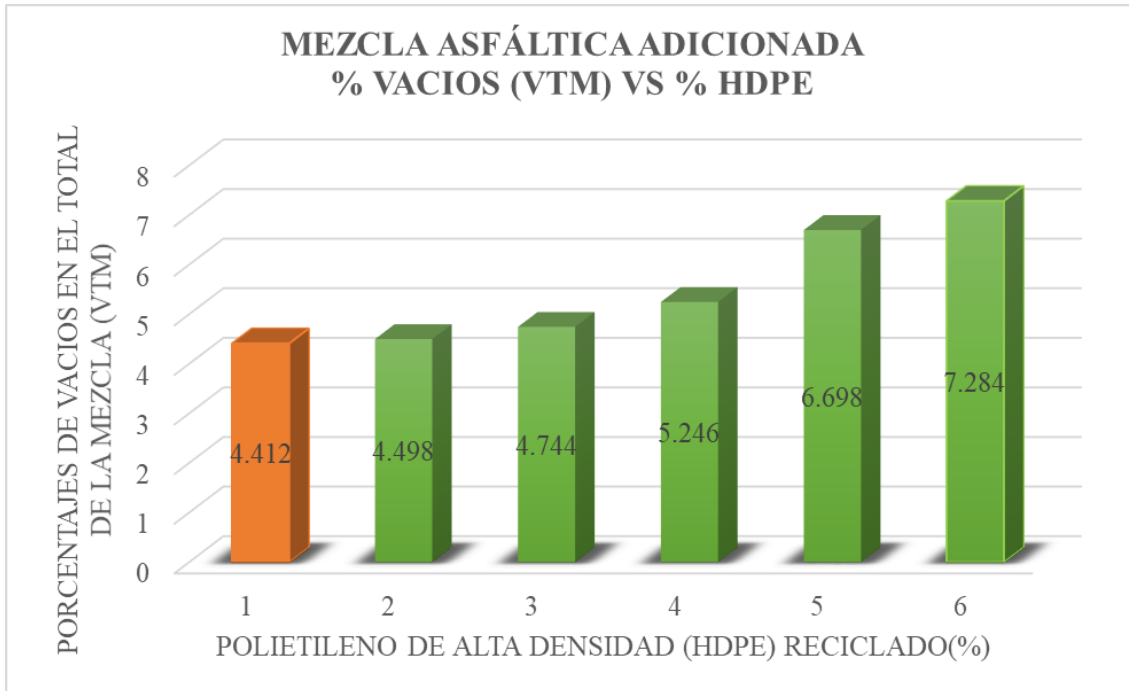


Figura 235: Variación del VTM de las mezclas asfálticas con porcentaje óptimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE

Fuente: Propia

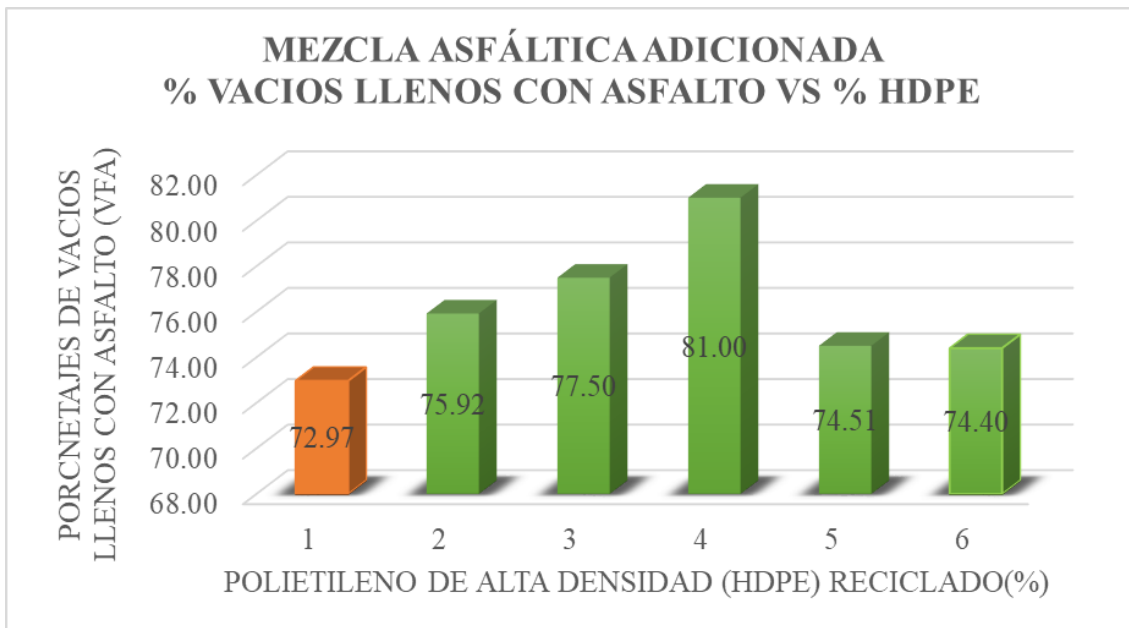


Figura 236: Variación del VFA de las mezclas asfálticas con porcentaje óptimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE

Fuente: Propia

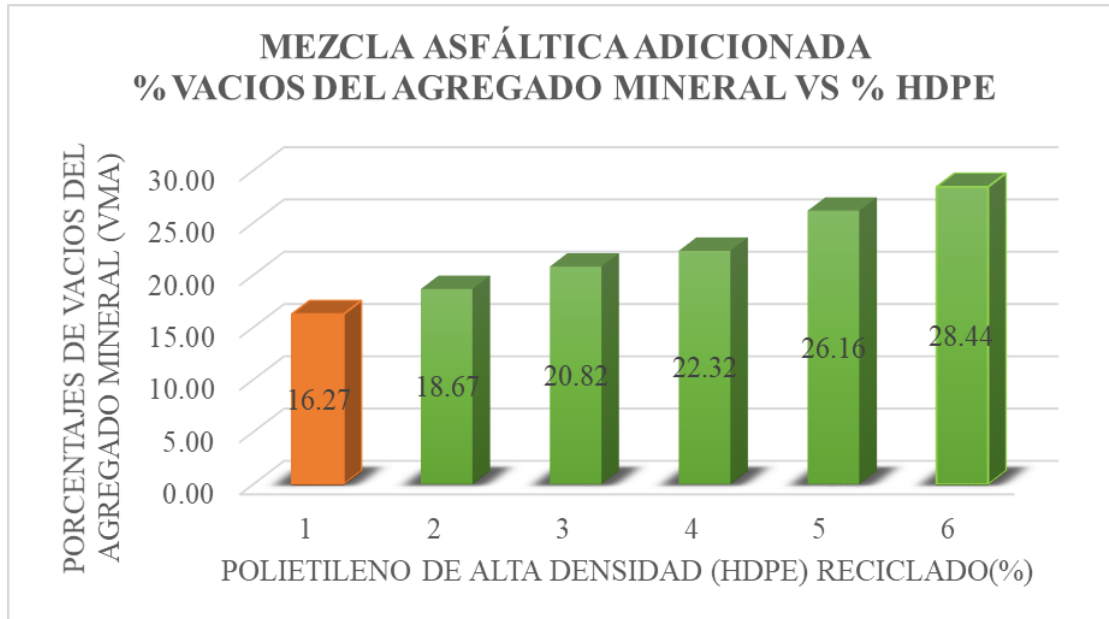


Figura 237: Variación del VMA de las mezclas asfálticas con porcentaje óptimo del 6.33% C.A. adicionadas con HDPE

Fuente: Propia

Tabla 435: Comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos

PROPIEDAD FISICA	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL C.A:6.33%	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA C.A:6.33% HDPE: 1%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA C.E.010
PESO ESPECIFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.162	2.120	-	-
PORCENTAJE DE VACIOS TOTAL DE LA MEZCLA (VTM) %	4.007	4.412	3-5%	3-5%
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA) %	74.945	72.970	65-75%	65-75%
PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)%	19.351	16.270	15% Min.	15% Min.

Fuente: Propia



b) Análisis de resultados

Los resultados de los parámetros volumétricos tanto de la mezcla asfáltica convencional al 6.33% de cemento asfáltico y la mezcla asfáltica adicionada con HDPE al 1%, cumplen con los con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)

4.1.4.2 Estabilidad y flujo Marshall

a) Tabla de resultados

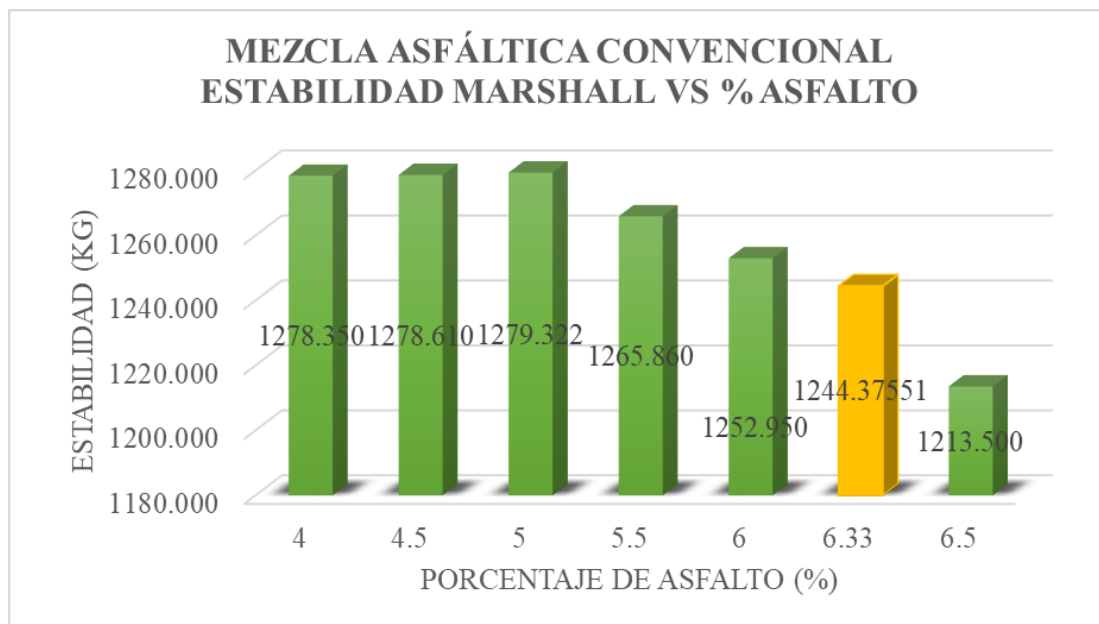


Figura 238: Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

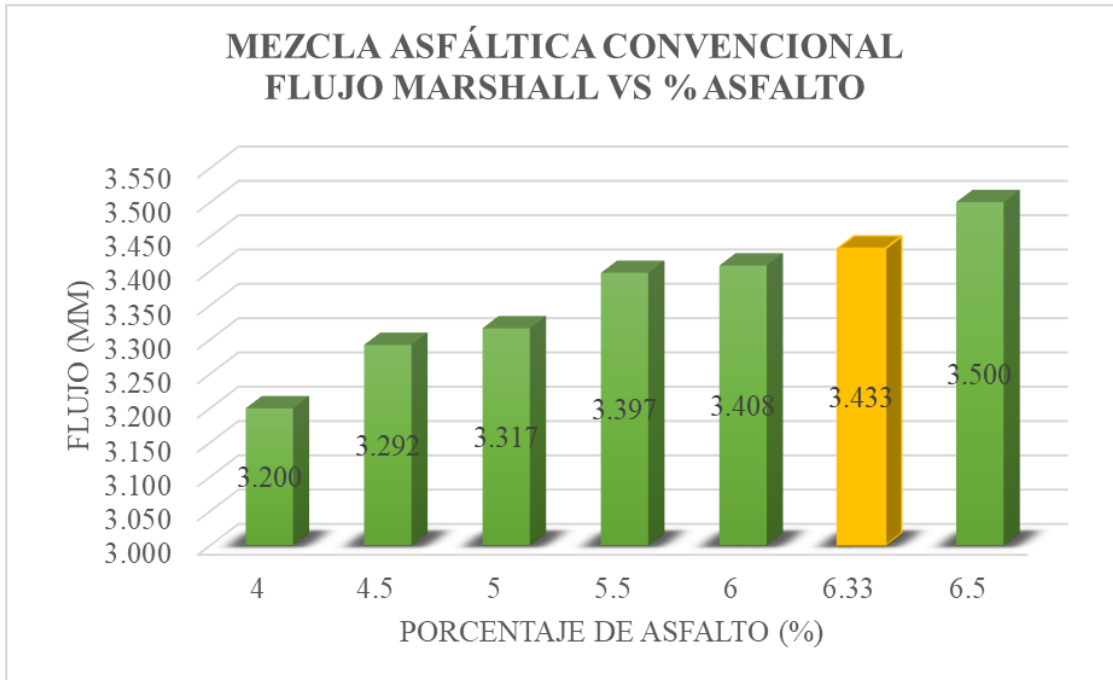


Figura 239: Variación del flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

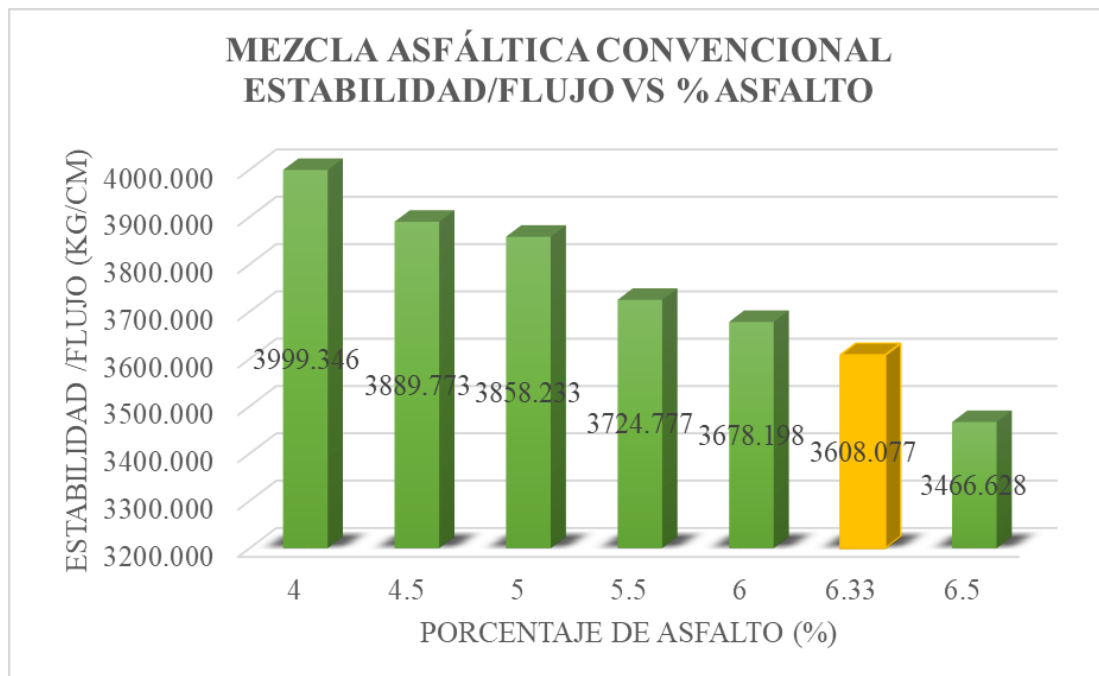


Figura 240: Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas convencionales respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

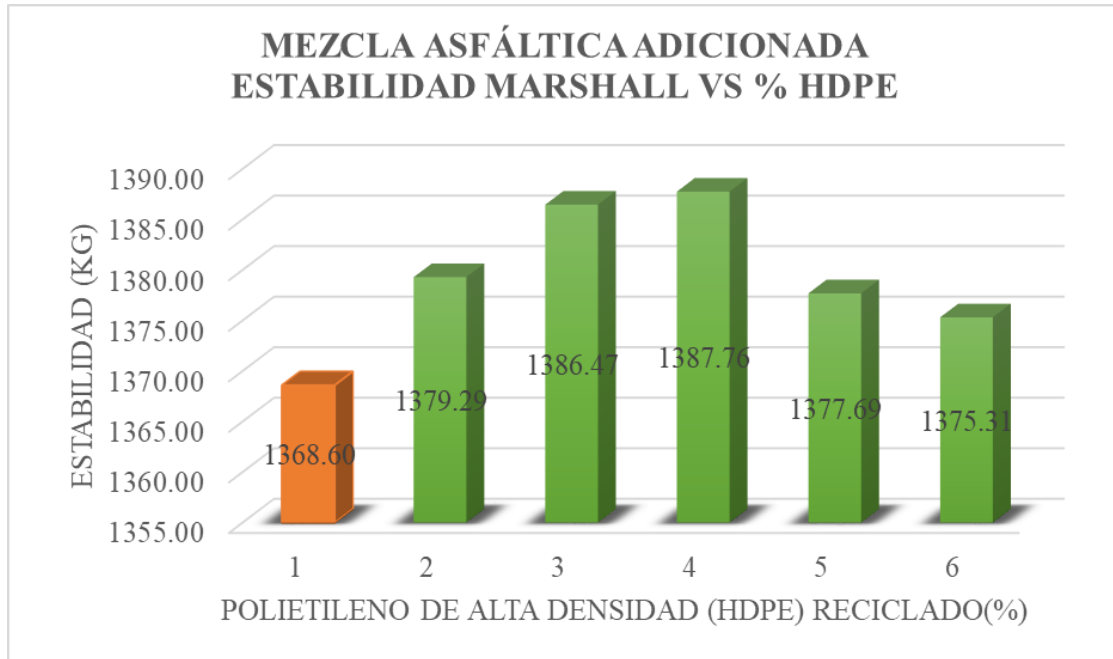


Figura 241: Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición

Fuente: Propia

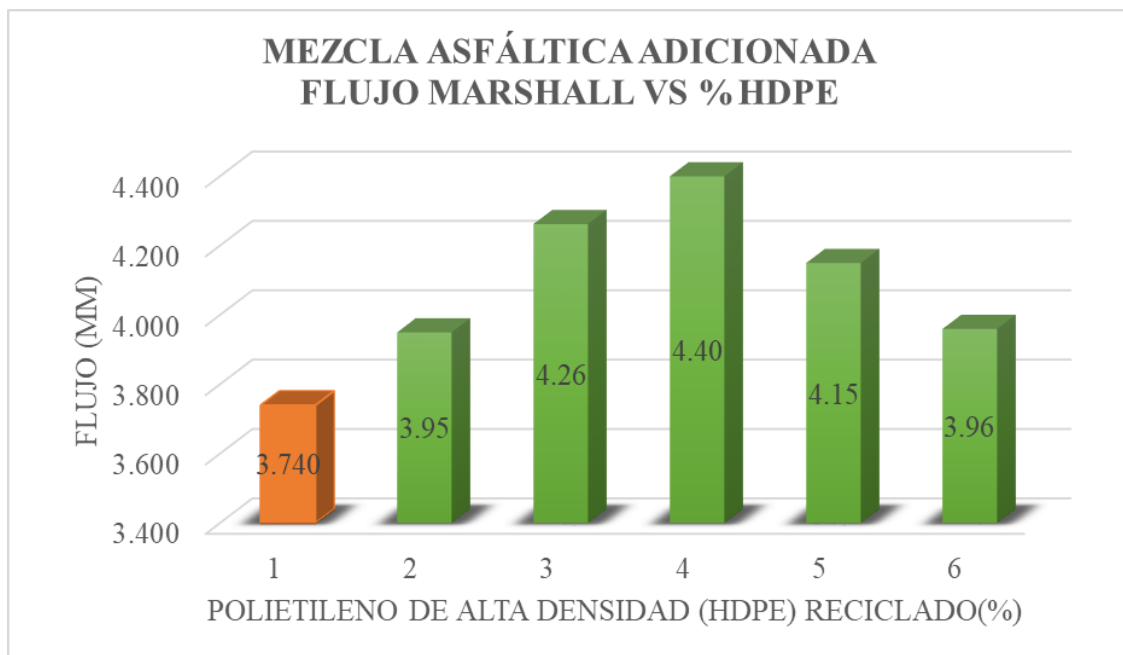


Figura 242: Variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición

Fuente: Propia

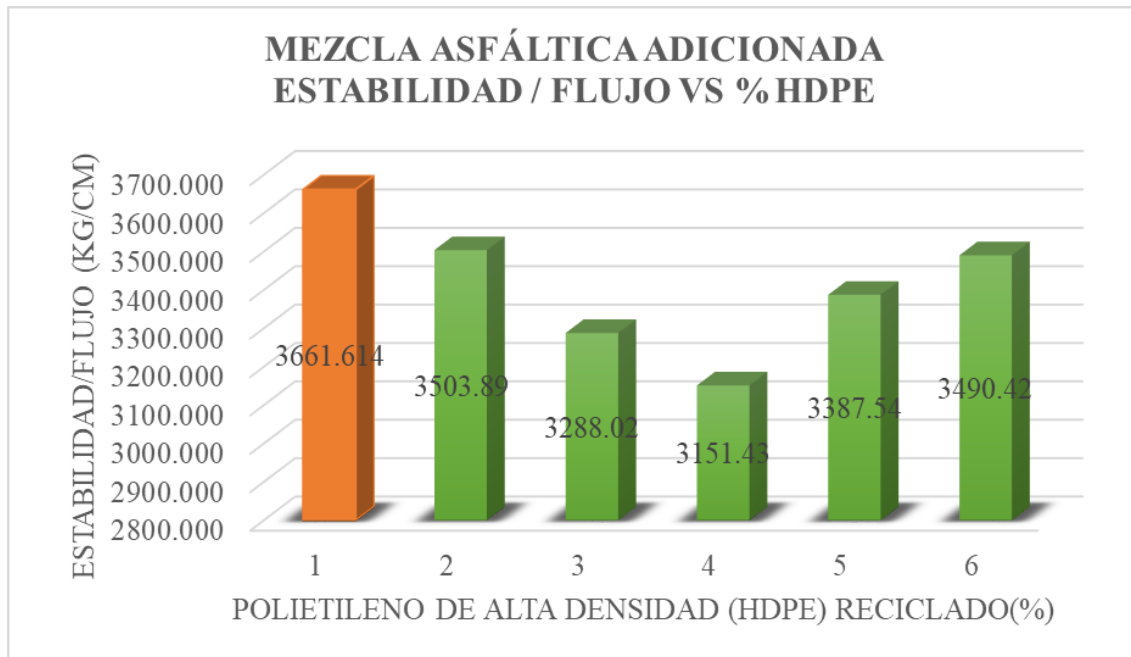


Figura 243: Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas adicionadas respecto al porcentaje de adición

Fuente: Propia

Tabla 436: Comparación de la estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en sus porcentajes óptimos

PROPIEDAD MECANICA	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL C.A:6.33%	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA C.A:6.33% HDPE: 1%	NORMATIV A EG-2013	NORMATIV A C.E.010
ESTABILIDAD MARSHALL (KG)	1244.755	1368.60	815kg Min.	832kg Min
FLUJO MARSHALL (MM)	3.433	3.740	2-3.5mm 8-14(0.25mm)	2-3.5mm 8-14(0.25mm)
RELACION ESTABILIDAD /FLUJO	3608.077	3661.614	1700-4000	-

Fuente: Propia

b) Análisis de resultados

Los resultados de la estabilidad y flujo Marshall tanto de la mezcla asfáltica convencional al 6.33% de cemento asfáltico y la mezcla asfáltica adicionada con HDPE al 1%, cumplen con los con los requerimientos a excepción del flujo, indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de





construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)

4.1.4.3 Resistencia al daño inducido por humedad en la mezcla asfáltica en porcentajes óptimos

a) Tabla de resultados

Tabla 437: Comparación de resultados de la resistencia al daño inducido por humedad de las mezclas asfálticas convencional y adicionada en porcentajes óptimos

PROPIEDAD MECANICA	MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONADA CA.: 6.33% HDPE: 1%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA CE0.10
TSR (%)	84.24%	89.94%	80% Min	-

Fuente: Propia

b) Análisis de resultados

Los resultados de la resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla asfáltica convencional al 6.33% de asfalto y la mezcla asfáltica al 6.33% de cemento asfáltico adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado al 1%, cumplen con los con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)

Además, se observa que la mezcla asfáltica al 6.33% de asfalto adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado al 1% da mejores resultados frente a la mezcla asfáltica convencional.

#### 4.1.5 Control de calidad de la mezcla asfáltica adicionada con porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado

##### 4.1.5.1 Parámetros Volumétricos

###### a) Tabla de resultados

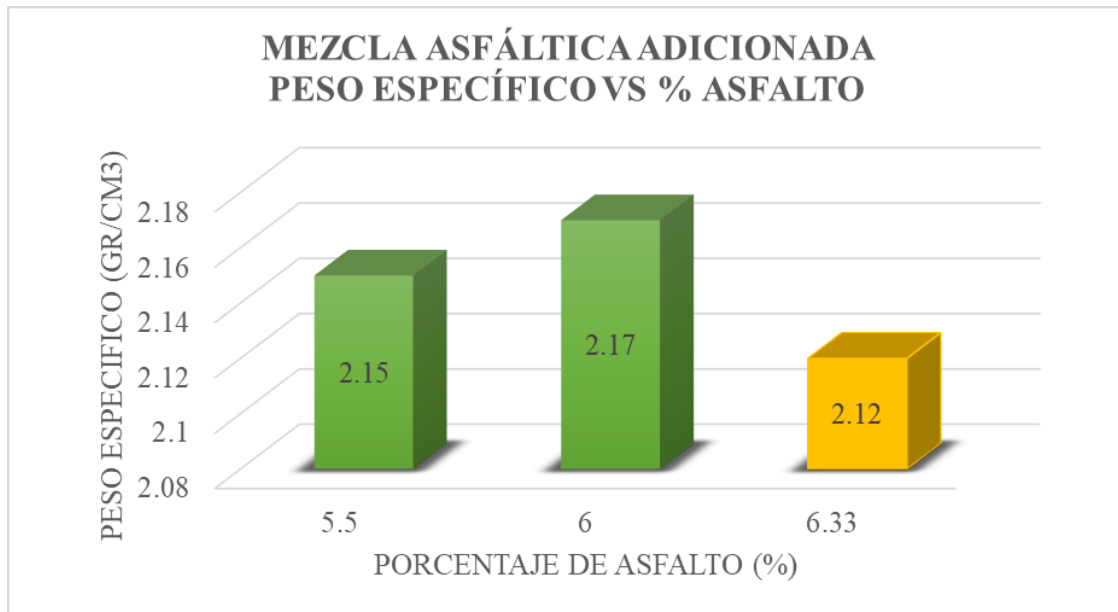


Figura 244: Variación del peso específico de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

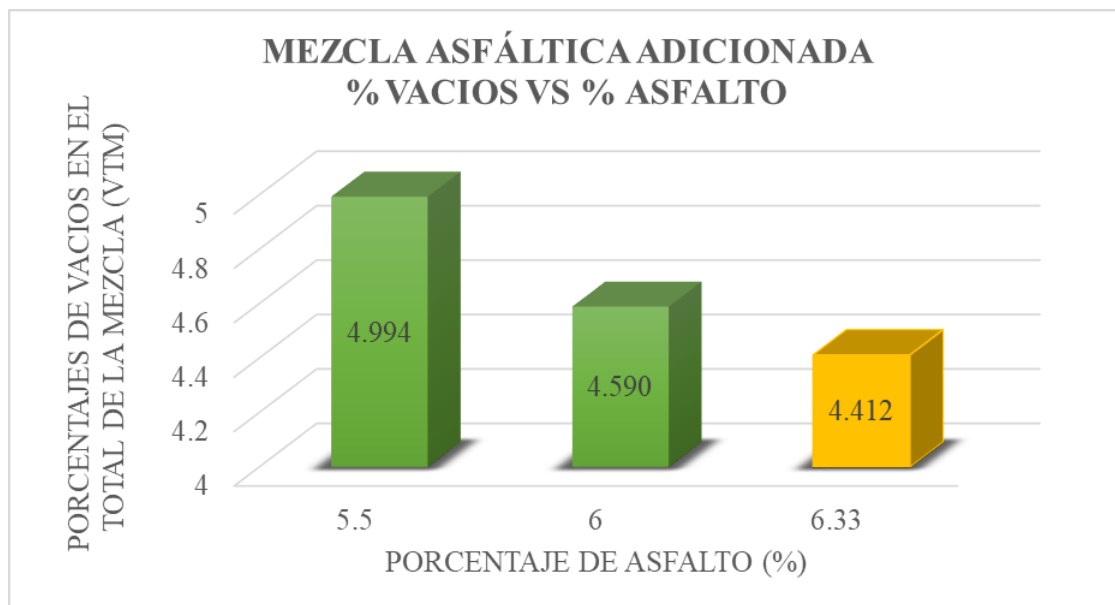


Figura 245: Variación del VTM de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

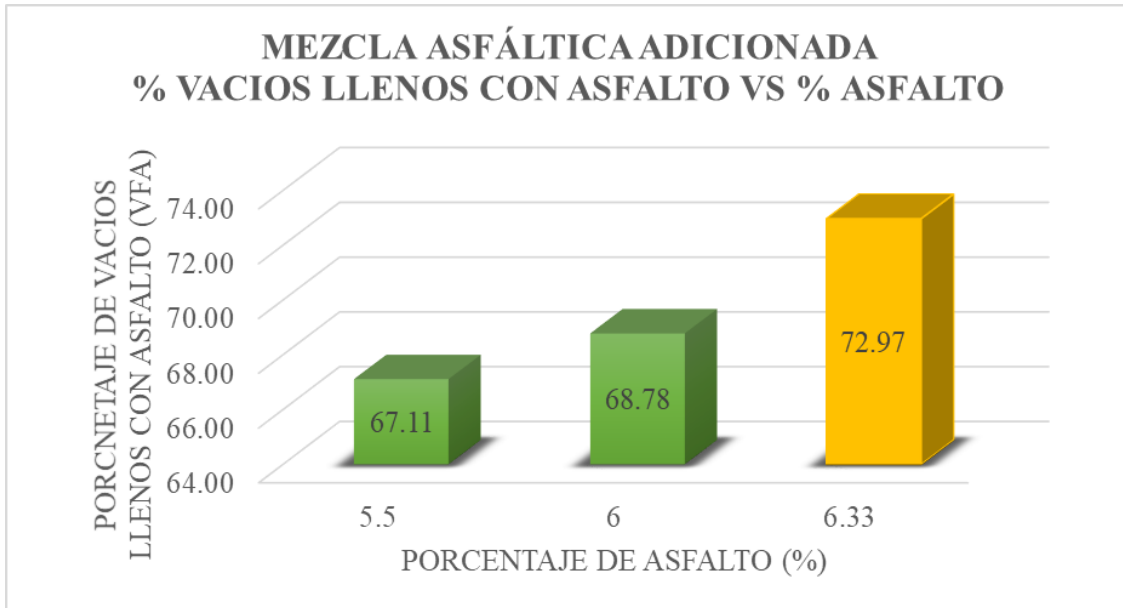


Figura 246: Variación del VFA de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

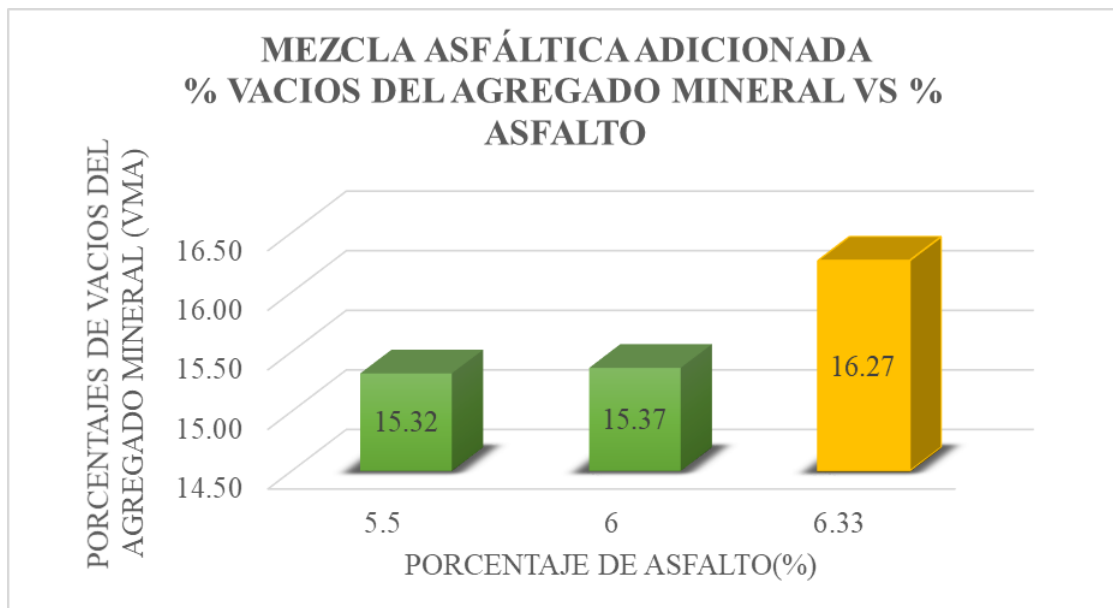


Figura 247: Variación del VMA de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia



Tabla 438: Comparación de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE en su porcentaje óptimo.

PROPIEDAD FISICA	MEZCLA ASFALTICA ADICIONADA C.A:5.50% HDPE: 1%	MEZCLA ASFALTICA ADICIONADA C.A:6.00% HDPE: 1%	MEZCLA ASFALTICA ADICIONADA C.A:6.33% HDPE: 1%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA C.E.010
PESO ESPECIFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.150	2.170	2.120	-	-
PORCENTAJE DE VACIOS TOTAL DE LA MEZCLA (VTM) %	4.994	4.590	4.412	3-5%	3-5%
PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS CON ASFALTO (VFA) %	67.110	68.780	72.970	65-75%	65-75%
PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)%	15.320	15.370	16.270	15% Min.	15% Min.

Fuente: Propia

c) Análisis de resultados

Los resultados de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica adicionada con HDPE al 1% con cemento asfáltico al 5,5%, 6% y 6.33%, cumplen con los con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)

Cabe resaltar que estos porcentajes de cemento asfáltico cumplen con las verificaciones realizadas por lo cual se toma estos valores para realizar la comparación.



#### 4.1.5.2 Estabilidad y Flujo Marshall

a) Tabla de resultados

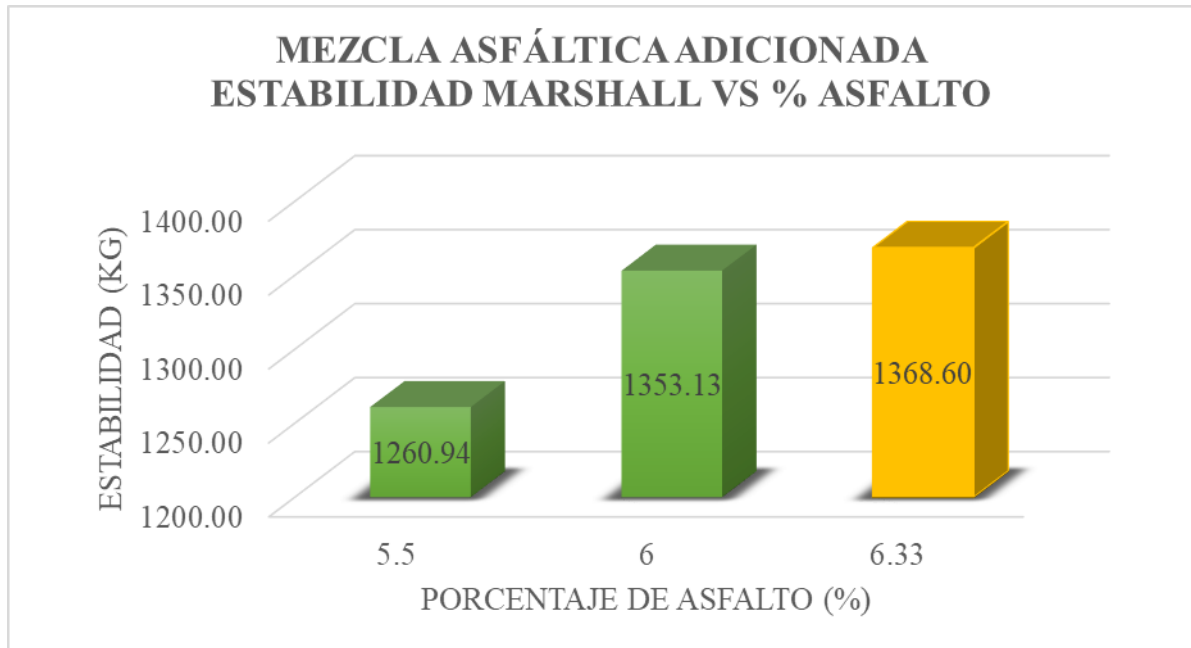


Figura 248: Variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

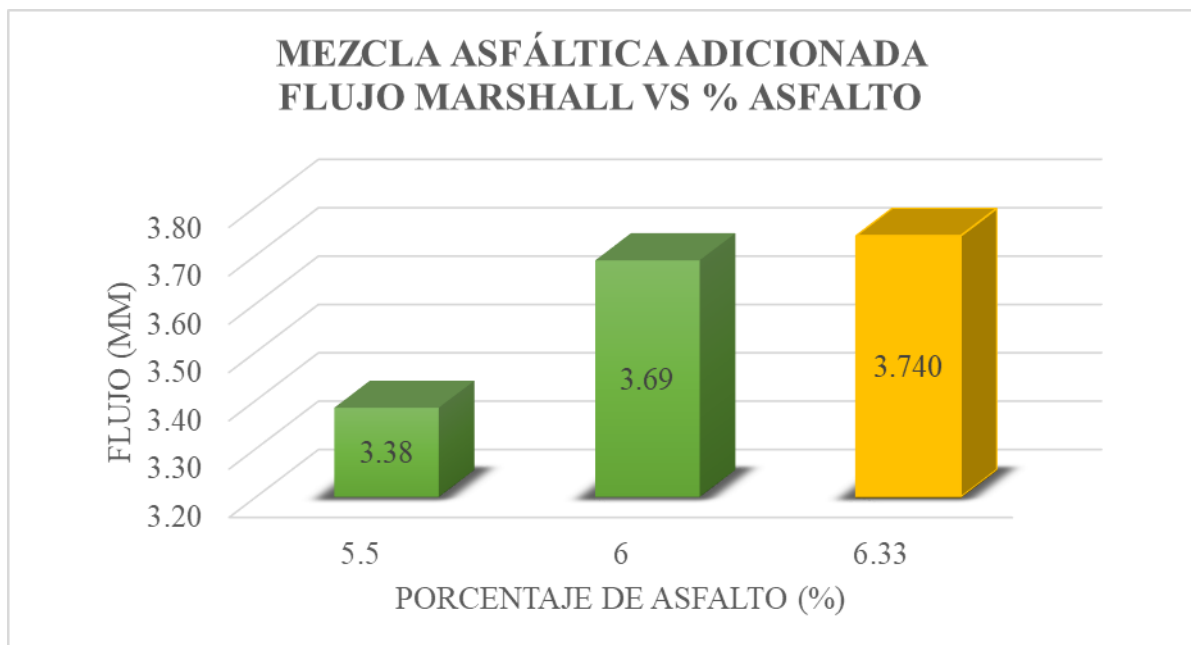


Figura 249: Variación del flujo de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

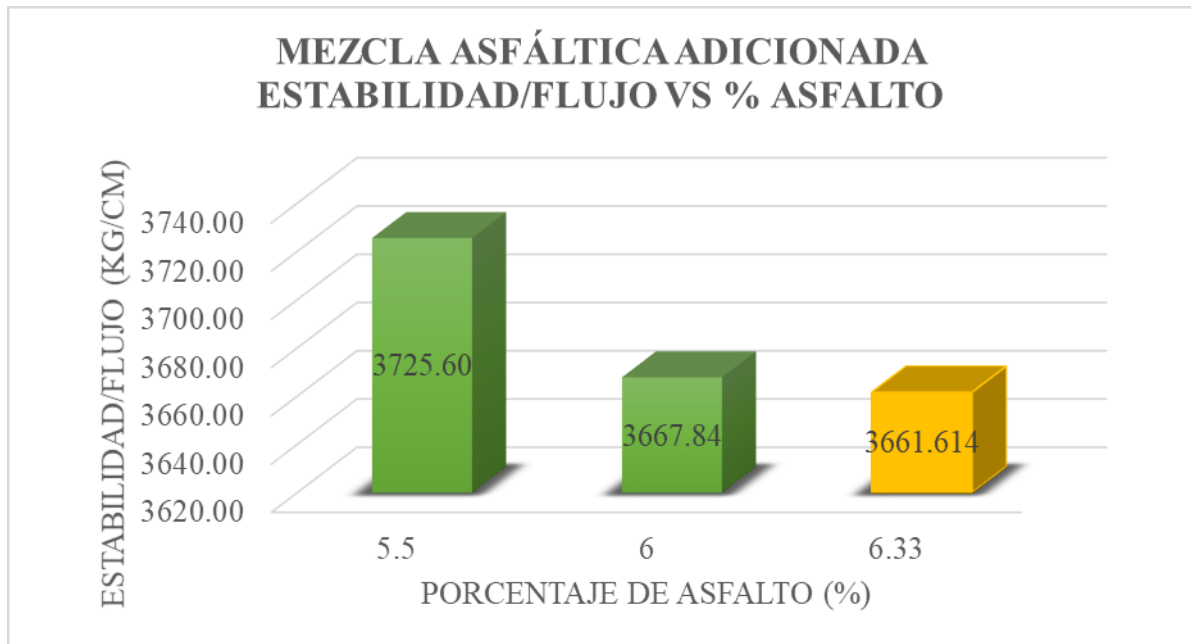


Figura 250: Variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE respecto al porcentaje de asfalto

Fuente: Propia

Tabla 439: Comparación de la estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas adicionadas con HDPE en su porcentaje óptimo

PROPIEDAD MECANICA	MEZCLA ASFALTICA ADICIONADA C.A:5.50% HDPE: 1%	MEZCLA ASFALTICA ADICIONADA C.A:6.00% HDPE: 1%	MEZCLA ASFALTICA ADICIONADA C.A:6.33% HDPE: 1%	NORMATIVA EG-2013	NORMATIVA C.E.010
ESTABILIDAD MARSHALL (KG)	1260.940	1353.130	1368.60	815kg Min.	832kg Min
FLUJO MARSHALL (MM)	3.38	3.690	3.740	2-3.5mm 8- 14(0.25mm)	2-3.5mm 8- 14(0.25mm)
RELACION ESTABILIDAD /FLUJO	3725.600	3667.84	3661.614	1700-4000	-

Fuente: Propia



b) Análisis de resultados

Los resultados de la estabilidad y relación estabilidad/flujo Marshall de la mezcla asfáltica adicionada con HDPE al 1% con cemento asfáltico al 5,5%, 6% y 6.33%, cumplen con los con los requerimientos a excepción del flujo, indicados en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) así como también con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos indicaciones en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE)

Los resultados del flujo, sólo cumple en la mezcla adicionada con HDPE al 1%, con un porcentaje de cemento asfáltico de 5.5%

Cabe resaltar que estos porcentajes de cemento asfáltico cumplen con las verificaciones realizadas por lo cual se toma estos valores para realizar la comparación.

4.2 Análisis de Costos Unitarios

Tabla 440: Análisis de Costos Unitarios de una preparación de mezcla asfáltica en caliente convencional

PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL								
Partida								
Rendimiento	m3/DIA	MO. 120.0000	EQ. 120.0000		Costo unitario directo por : m3		519.82	
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>								
0147010002	OPERARIO			hh	2.0000	0.1333	17.77	2.37
0147010003	OFICIAL			hh	2.0000	0.1333	13.99	1.86
0147010004	PEON			hh	6.0000	0.4000	12.61	5.04
								<b>9.27</b>
<b>Materiales</b>								
02050000390012	PIEDRA CHANCADA DE 1/2			m3		0.3700	63.56	23.52
0205010007	ARENA NATURAL			m3		0.2700	84.75	22.88
0205010018	ARENA TRITURADA			m3		0.3600	67.80	24.41
0220010004	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100			gln		36.0000	10.59	381.24
								<b>452.05</b>
<b>Equipos</b>								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	9.27	0.28
0349040010	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3 yd3			hm	1.0000	0.0667	194.92	13.00
0349260100	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 50 tn/h			hm	1.0000	0.0667	677.97	45.22
								<b>58.50</b>

Fuente: Propia



Tabla 441: Análisis de Costos Unitarios de una preparación de mezcla asfáltica en caliente adicionado con HDPE reciclado

PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE ADICIONADO CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 120.0000	EQ. 120.0000	Costo unitario directo por : m3		540.82
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.1333	17.77	2.37
0147010003	OFICIAL	hh	2.0000	0.1333	13.99	1.86
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.4000	12.61	5.04
<b>9.27</b>						
<b>Materiales</b>						
02050000390012	PIEDRA CHANCADA DE 1/2	m3		0.3700	63.56	23.52
0205010007	ARENA NATURAL	m3		0.2700	84.75	22.88
0205010018	ARENA TRITURADA	m3		0.3600	67.80	24.41
0220010004	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	gln		36.0000	10.59	381.24
0220020001	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO	kg		6.0000	3.50	21.00
<b>473.05</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	9.27	0.28
0349040010	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0667	194.92	13.00
0349260100	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 50 tn/h	hm	1.0000	0.0667	677.97	45.22
<b>58.50</b>						

Fuente: Propia

Se observa que una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado con cemento asfáltico PEN 85/100 tiene S/.21.00 por encima de la mezcla asfáltica convencional. Por lo cual no recomienda el polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado como un adiconante a la mezcla asfáltica patrón.





## Capítulo V: Discusiones

### Discusión N°1:

**¿La granulometría de la combinación del agregado grueso de Morro Blanco y de los agregados finos de Morro Blanco y Cunyac cumplió con la granulometría requerida para la mezcla asfáltica en caliente?**

Si, las granulometrías de la combinación de los tres agregados utilizados en la presente tesis cumplieron con la granulometría requerida para un diseño de mezcla asfáltica en caliente (MAC 2) establecido por el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

### Discusión N°2:

**¿De qué manera se puede realizar el control de calidad de los agregados para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente?**

Para el control de calidad de los agregados usados en la presente tesis, se siguieron los requerimientos normativos establecidos por el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también los requerimientos de la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE).

### Discusión N°3:

**¿De qué manera se puede realizar el control de calidad del cemento asfáltico para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente?**

Para el control de calidad del cemento asfáltico en la presente tesis, se siguieron los requerimientos normativos establecidos por el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC)

### Discusión N°4:

**¿De qué manera se puede controlar las características físicas y mecánicas de una mezcla asfáltica adicionada en caliente analizado en la presente tesis de investigación?**



Para el control de las características físicas y mecánicas (Flujo, Estabilidad Marshall y Resistencia al daño inducido por humedad) de una mezcla asfáltica adicionada en caliente en la presente tesis, se siguieron los requerimientos normativos establecidos por el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC)

#### **Discusión N°5:**

##### **¿Qué consideraciones se debe tener en cuenta durante la preparación de mezclas asfálticas?**

Durante la preparación de la mezcla asfáltica se debe tener en cuenta los siguientes factores ya que estos inciden en los resultados de su comportamiento:

- Temperatura de los agregados
- Temperatura del cemento asfáltico
- Temperatura de la mezcla asfáltica
- Temperatura de la muestra al compactarse
- Control del número de golpes por cara de la muestra

#### **Discusión N°6:**

##### **¿Por qué se utilizó el polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado como adicionante en la mezcla asfáltica en caliente?**

Se utilizó el polietileno de alta densidad (HDPE) como adicionante de la mezcla asfáltica en caliente para que al ser aplicada presente mejorar en sus características físicas y comportamiento mecánico, además que al ser un material proveniente del reciclaje contribuye al cuidado del medio ambiente.

#### **Discusión N°7:**

##### **¿Los porcentajes de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclados utilizados en las dosificaciones son convenientes para la presente tesis de investigación?**

No, los porcentajes utilizados en la presente tesis de investigación no fueron convenientes ya que al adicionarle más porcentaje de HDPE ya no se cumplían con las verificaciones de gravedades ni con el flujo Marshall.



**Discusión N°8:**

**¿Qué porcentaje de polietileno de alta densidad (HDPE) es recomendable adicionar a la mezcla asfáltica en caliente?**

Obteniendo los resultados en la presente tesis de investigación, se pudo determinar que el contenido óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado para mejorar las características y comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente fue de 1.0% respecto al peso total.

**Discusión N°9:**

**¿De qué manera aporta la presente investigación?**

La presente tesis de investigación aporta en la información que se tiene acerca de las mezclas asfálticas en caliente adicionadas con polietileno de alta densidad (HDPE) respecto a sus características físicas y comportamiento mecánico.

## Glosario

### A

#### **AGREGADO**

Material Granular de como arena, grava, escoria o roca triturada, puede utilizarse en su estado natural o triturado, de acuerdo a su uso y aplicación.

### C

#### **CEMENTO ASFALTICO**

El cemento asfaltico es un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo.

### D

#### **DENSIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA**

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante



debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

## **E**

### **ESPÉCIMEN**

Muestra, modelo o ejemplar que tiene las cualidades o características que se consideran representativas de la especie a la que pertenece.

### **ESTABILIDAD MARSHALL**

Se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la probeta a 60° C

## **F**

### **FILLER**

Sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en él, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia

### **FLUJO MARSHALL**

Deformación del espécimen de asfalto al punto de máxima carga

## **G**

### **GRADACIÓN**

La disposición u orden de algo en grados sucesivos, ascendentes o descendentes

## **M**

### **MEZCLA ASFÁLTICA**

Mezcla asfáltica, concreto bituminoso o agregado asfáltico, consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales

## **P**

### **PAVIMENTO**



Conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

### **PAVIMENTO FLEXIBLE**

Aquel pavimento que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica que utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto.

#### **Nomenclatura**

<b>CA</b>	CEMENTO ASFÁLTICO
<b>MAC</b>	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
<b>PEN 85/100</b>	CEMENTO ASFALTICO DE PENETRACION 85-100MM
<b>TM</b>	TAMAÑO MAXIMO
<b>TMN</b>	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL
<b>VFA</b>	PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS COM ASFALTO
<b>VMA</b>	PORCENTAJE DE VACÍOS EM EL AGREGADO MINERAL
<b>VTM</b>	PORCENTAJE DE VACÍOS DEL TOTAL DE LA MEZCLA

#### **Abreviaturas**

<b>ASTM</b>	AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS (ASOCIACIÓN AMERICANA DE ENSAYO DE MATERIALES)
<b>HDPE</b>	HIGH DENSITY POLYETHYLENE (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)
<b>EG</b>	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCION
<b>MTC</b>	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERU
<b>RNE</b>	REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES



## Conclusiones

### Conclusión N°1:

Con respecto a la hipótesis general: la mezcla asfáltica en caliente adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado con agregados de la región del Cusco, en cuanto a las propiedades físicas presenta mayor porcentaje de vacíos con respecto a la mezclas asfálticas convencionales cumpliendo con los parámetros del MTC, en relación al porcentaje de vacíos llenos de asfalto presenta una variación menor con diferencia del 1.975% y con respecto al porcentaje de vacíos del agregado mineral presenta una diferencia del 3.081%; en cuanto al comportamiento mecánico la mezcla asfálticas adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta mayores valores estabilidad y flujo presentando una la relación de estabilidad – flujo mayor que la mezclas asfálticas convencionales.

### Conclusión N°2:

Se demuestra la primera sub hipótesis que a la letra dice “El porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado para la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionada se encuentra entre 1%-6%”, ya que el porcentaje óptimo hallado de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado es de 1% teniendo en cuenta que este cumple con las verificaciones de gravedades, los parámetros volumétricos (Peso específico, VTM, VMA, VFA) y con los comportamientos mecánicos (Estabilidad Marshall y daño inducido por humedad) requeridos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC); a excepción del flujo Marshall.

### Conclusión N°3:

No se demuestra la segunda sub hipótesis que a letra dice: “La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta mayor valor de estabilidad y menor valor de flujo respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta mayor valor de estabilidad en comparación a la mezcla asfáltica convencional



pero no presenta mejores resultados respecto al flujo en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica con un contenido de 6.33% de cemento asfáltico adicionada con 1% de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta una estabilidad Marshall de 1368.60 kg y un flujo Marshall de 3.740mm frente a una estabilidad Marshall de 1244.755kg y un flujo Marshall de 3.433mm de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de cemento asfáltico de 6.33%. Ambos resultados cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

#### Conclusión N°4:

No se demuestra la tercera sub hipótesis que a letra dice: “La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta un menor porcentaje de vacíos respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta mayor porcentaje de vacíos en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica con un contenido de 6.33% de cemento asfáltico adicionada con 1% de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta un porcentaje de vacíos de 4.412% frente a un porcentaje de vacíos de 4.007% de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de cemento asfáltico de 6.33%. Ambos resultados cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

#### Conclusión N°5

No se demuestra la cuarta sub hipótesis que a letra dice: “La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, es más densa que la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta menor densidad en comparación a la mezcla asfáltica convencional.



La mezcla asfáltica con un contenido de 6.33% de cemento asfáltico adicionada con 1% de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta una densidad de 2.120gr/cm<sup>3</sup> frente a una densidad de 2.162 gr/cm<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de cemento asfáltico de 6.33%.

#### Conclusión N°6

Se demuestra la tercera sub hipótesis que a letra dice: “La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta menor daño por humedad que la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.” Debido a que la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta mejor resultado a la resistencia al daño inducido por humedad en comparación a la mezcla asfáltica convencional. La mezcla asfáltica con un contenido de 6.33% de cemento asfáltico adicionada con 1% de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado presenta un %TSR (Tensile Strenght Ratio) de 89.94% frente a un %TSR (Tensile Strenght Ratio) de 84.24% de la mezcla asfáltica convencional con un contenido de cemento asfáltico de 6.33%. Ambos resultados cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC).

#### Conclusión N°7

El contenido óptimo de cemento asfáltico PEN 85/100, para las mezclas asfálticas tanto convencional como adicionada fue de 6.33% respecto al peso total de la muestra (1200 gr) el cual se obtuvo mediante análisis de parámetros volumétricos (Peso específico, VTM, VMA, VFA), el análisis de valores de flujo y estabilidad. Los cuales cumplen con los requerimientos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013” dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) así como también en la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos urbanos indicados en el Reglamento nacional de edificaciones del Perú (RNE).





#### Conclusión N°8

Los resultados de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica adicionada con HDPE al 1% con cemento asfáltico al 6.5% y 7.0%, no cumplen con las verificaciones de gravedades realizadas por lo cual fueron descartados para realizar la evaluación comparativa con los porcentajes 5.5%, 6.0% y 6.33% tampoco cumplen con los requerimientos indicados en el Manual de carreteras

### **Recomendaciones**

#### Recomendación N°1:

Se recomienda realizar los ensayos de control de calidad de todos los agregados a utilizar de manera minuciosa y tomando en cuenta los procedimientos establecidos en el Manual Ensayo de Materiales dispuesto por el Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC) ya que podrían existir errores al realizar el diseño de la mezcla asfáltica.

#### Recomendación N°2:

En la presente tesis de investigación, se realizó una evaluación comparativa características físicas y comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) ambos con cemento asfáltico PEN 85/100, utilizando Agregado Grueso de Morro Blanco, Arena Triturada de Morro Blanco y Arena Fina de Cunyac los cuales fueron provistos por la Cantera de Morro Blanco, San Salvador Pisac y la Planta de Asfalto de COPESCO. En base a esto, se recomienda utilizar el polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con otros materiales pétreos que se encuentren en la Región del Cusco.

#### Recomendación N°3:

En la presente tesis se realizó una evaluación comparativa de las características físicas y comportamiento mecánico de una mezcla convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado ambos con cemento asfáltico PEN 85/100. Por lo tanto, se recomienda la



evaluación comparativa de las características físicas y comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con otro tipo de cemento asfáltico.

Recomendación N°4:

En la presente tesis se realizó una evaluación comparativa de las características físicas y comportamiento mecánico de una mezcla convencional utilizando cemento frente a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado. Por tanto, se recomienda el estudio con otros polietilenos que se puedan implementar en una mezcla asfáltica en caliente para mejorar las características físicas y comportamiento mecánico.

Recomendación N°5:

Se recomienda a la Universidad Andina del Cusco, implementar el laboratorio de Suelos, concreto y asfalto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil con equipos especializados para el mejor estudio de una mezcla asfáltica en caliente.

Recomendación N°6:

En la presente tesis se realizó una comparación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional utilizando cemento asfáltico PEN 85/100 frente a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado por lo tanto se recomienda adicionar el ensayo de prueba de la Rueda de Hamburgo de una mezcla asfáltica como análisis para la deformación permanente indicando la resistencia de la mezcla asfáltica al ahuellamiento.



## Referencias

- ARENAS LOZANO, H. L. (1999). *Tecnología del cemento asfáltico, quinta edición*.
- ASOCIACIÓN AUTOMOTRIZ DEL PERÚ. (2019). *Cusco es la cuarta ciudad donde más vehículos nuevos se vende*. Obtenido de:  
<https://aap.org.pe/aap-cusco-es-la-cuarta-ciudad-donde-mas-vehiculos-nuevos-se-vende/>.
- ASFALTO & CONSTRUCCIONES S.A.C. (2015). *Cemento asfáltico pen (40/50-60/70-85/100-120/150*. Lima.
- ASPHALT INSTITUTE. (1992). *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente MS-22*. Estados Unidos: Asphalt Institute.
- AVELLAN CRUZ. M. D. (2007). *Asfaltos modificados con polímeros*, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- BOTÍA DIAZ, W. A. (2015). *Manual de Procedimientos de ensayos de Suelos y Memorias de Cálculo (Tesis)*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- CERESANA. (21 de noviembre del 2020). *Último informe sobre el mercado global del HDPE*. Obtenido de: <https://mundoplast.com/crecimiento-mercado-mundial-hdpe/?fbclid=IwAR0fe6e0gICTLHIUe-TxxqP-IX81ZEas3HsFbQNUHpyS0EH eA4iPuBBwLiM>.
- GIRÓN, I. E. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- INTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTES (2006), *influencia de la Granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica*
- INTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTES (2004), *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. México.
- MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES, M. D. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima.
- MINAYA GONZÁLEZ, S., & ORDÓÑEZ HUAMÁN, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.



- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2013) *Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas Generales para Construcción*. Lima.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2010). *Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima.
- MONTEJO FONSECA, A. (2002), *Ingeniería de Pavimentos*. Colombia. Universidad Católica de Colombia.
- ORDEN CIRCULAR (2008). *Sobre el pliego de prescripciones Técnicas generales para obras de carreteras y puentes*, Madrid, España.
- PADILLA RODRIGUEZ, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Catalunya. Universidad Politecnica de Catalunya.
- PALADINES PARDO, J. (2015). *Productos Bituminosos Empleados en los pavimentos. Consistencia del Cemento Asfático y su Gravedad Específica*. Machala. Universidad Técnica de Machala.
- RECIMEX. (2017). *Reciclaje de Polietileno de Alta Densidad (PE-HD)*. Obtenido de: <http://www.recimex.com.mx/blog/?p=534>
- RONDO QUINTANA H.A. & REYES LISCANO F.A. (2015) *Mezclas asfálticas tibias: revisión desde el punto de vista técnico, económico y ambiental*
- SEAPLAST (2015) *Datos Técnicos del polietileno de alta densidad*.



## **Anexos**



Matriz de consistencia:

"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ADICIONADA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) RECICLADO CON RESPECTO A UNA MUESTRA PATRÓN UTILIZANDO CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100, CON AGREGADOS DE LA REGION CUSCO - 2022"					
2.-PROBLEMA GENERAL	3.-OBJETIVO GENERAL	4.-HIPOTESIS GENERAL	5.-VARIABLES		6.- INSTRUMENTOS
			5.1 INDEPENDIENTES	5.1.1INDICADORES	
¿Como variara las propiedades físico - mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 frente a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región del Cusco?	Evaluar y comparar las características físico mecánicas, de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad reciclado (HDPE), con agregados de la región Cusco.	La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta mejores características físicas y comportamiento mecánico que el de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.	Polietileno de alta densidad (HDPE)	% Porcentaje en peso	SEGÚN DATOS DE LABORATORIO Y FICHAS DE CAMPO
<b>2.1.-PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>3.1.1OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>4.1.1. HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>5.2 INTERVINIENTES</b>	<b>5.2.1INDICADORES</b>	<b>7.-METODOLOGIA</b>
¿Cuál será el porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, para ser empleada en una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región del Cusco - 2022?	Determinar el porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad HDPE reciclado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco	El porcentaje óptimo de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado para la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionada se encuentra entre 1%-6%	Agregados Pétreos Cemento Asfáltico	Características de los agregados Adherencia del Ligante	METODO HIPOTETICO DEDUCTIVO
			<b>5.3 DEPENDIENTES</b>	<b>5.2.1INDICADORES</b>	
Como variara la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región del Cusco?	Evaluar comparativamente la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.	La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta mayor valor de estabilidad y menor valor de flujo respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.	Estabilidad - Flujo	kg/cm	SEGÚN SU FINALIDAD: APLICADA
¿Cuál será la evaluación comparativa del porcentaje de vacíos entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región del Cusco?	Evaluar comparativamente el porcentaje de vacíos que presenta la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.	La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta un menor porcentaje de vacíos respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.	Porcentaje de Vacíos	Porcentaje (%)	SEGÚN SU ALCANCE: DESCRIPTIVA
¿Cómo variará la densidad de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco?	Determinar la densidad de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.	La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, es más densa que la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.	Densidad	gr/cm3	SEGÚN SU DISEÑO: EXPERIMENTAL
¿Cómo variará la resistencia al daño inducido por humedad de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a una mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco?	Determinar la resistencia al daño por humedad de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con respecto a la mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, con agregados de la región Cusco.	La mezcla asfáltica adicionada con polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado, presenta menor daño por humedad que la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con agregados de la región Cusco.	Porcentaje TSR	Porcentaje (%)	SEGÚN SU FUENTE DE DATOS: LABORATORIO-GABINETE SEGÚN SU ENFOQUE: CUANTITATIVA

Fuente: Propia