



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas
asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con
polímeros

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Caycho Gamarra, Freddy Martin
ORCID: 0009-0001-9126-2270

Del Rio Fermor, Bernardo Guillermo
ORCID: 0009-0000-3238-8351

ASESOR

Huaman Guerrero, Nestor Wilfredo
ORCID: 0000-0002-7722-8711

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los autores

Caycho Gamarra, Freddy Martin

DNI: 73795613

Del Rio Fermor, Bernardo Guillermo

DNI: 07856654

Datos de asesor

Huaman Guerrero, Nestor Wilfredo

DNI: 10281360

Datos del jurado

JURADO 1

Davila Fernandez, Susana Irene

DNI: 09147106

ORCID: 0000-0002-6949-1317

JURADO 2

Arevalo Lay, Victor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

JURADO 3

Tamara Rodriguez, Joaquin Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Caycho Gamarra Freddy Martin, con código de estudiante N°201510290, con DNI N°73795613, con domicilio en Calle Ontario 191, distrito Chorrillos, provincia y departamento de Lima, y Del Río Fermor Bernardo Guillermo, con código de estudiante N°198226090, con DNI N°07856654, con domicilio en Av. Las Lomas de la Molina 507, distrito La Molina, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente M. Sc. Ing. Huaman Guerrero, Nestor Wilfredo y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 10% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 07 de diciembre del 2023



Caycho Gamarra Freddy Martin

DNI N°73795613



Del Río Fermor Bernardo Guillermo

DNI N°07856654

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN

Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	1%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Dra. Vargas Chang Esther Jori

DEDICATORIA

A mis padres, a mis hijas Alessandra y Camila y a mi nieto, mi hijo, Kai por ser mi mayor motivación para realizar esta tesis.

Bernardo Guillermo Del Río Fermor

A mi abuelo y padre.

Freddy Martin Caycho Gamarra

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi amigo y compañero de estudios, el Ing. Carlos Amorós Marquina, por su invaluable apoyo y el de su empresa a favor al servicio de nuestro trabajo de investigación y con él, al Ing. Omar Godoy, a nuestros asesores de tesis, el M.Sc. Ing. Néstor Huamán Guerrero y el Dr. Ing. Joaquín Samuel Támara Rodríguez por sus valiosas enseñanzas y guía en favor de nuestra tesis.

Bernardo Guillermo Del Río Fermor
Freddy Martin Caycho Gamarra

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Importancia y justificación del estudio.....	2
1.4 Limitaciones de Estudio	3
1.5 Objetivos de la investigación.....	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Marco histórico	4
2.1.1 Investigaciones internacionales	4
2.1.2. Investigaciones nacionales	5
2.2 Bases teóricas.....	6
2.2.1. Estabilidad y fluencia	6
2.2.2. Ensayos de laboratorio	7
2.3. Papel fundamental de la Carpeta de Rodadura	17
2.4. Materiales	18
2.4.1. Cemento asfáltico de petróleo (CAP).....	18

2.4.2. Cemento Asfáltico Convencional.....	20
2.4.3. Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros	20
2.4.4. Agregados.....	21
2.4.5. Polímeros.....	23
2.4.6. Asfalto modificado con polímeros	25
2.4.7. Mezclas asfálticas en caliente (MAC).....	25
2.4.8. Diseño de mezclas asfálticas: Método Marshall	28
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	31
3.1. Hipótesis General.....	31
3.2. Hipótesis Específica.....	31
3.3. Variables	31
3.3.1. Variable Independiente	31
3.3.2. Variable Dependiente	31
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
4.1. Tipo y método nivel de investigación.....	33
4.1.1. Método.....	33
4.1.2. Tipo	33
4.1.3. Nivel	33
4.1.4. Diseño:.....	33
4.2. Población de estudio	33
4.3. Diseño muestral	33
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
4.5. Análisis de datos	34
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	35
5.1. Recolección de Datos	35
5.1.1. Agregados Pétreos	35
5.1.2. Cementos Asfálticos	35
5.1.3. Polímero SBS.....	35
5.2. Procesamiento de Datos y Resultados	35
5.2.1. Requerimientos de Agregados Gruesos	35
5.2.2. Requisitos para los agregados finos	44
5.2.3. Diseño de Mezclas.....	49
5.2.4. Ensayo Lottman Modificado	75

5.2.5 Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo.....	79
5.2.6 Ensayo de Módulo Resiliente.....	83
5.2.7 Estabilidad y Flujo.....	92
5.3 Análisis de los Resultados Obtenidos.....	94
5.4 Contrastación de Hipótesis	102
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS.....	107
ANEXOS	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia.....	109
Anexo B: Permiso de la empresa.....	110
Anexo C: Determinación de partículas planas y alargadas de agregado 1/2"	111
Anexo D: Peso específico y absorción del agregado grueso de agregado 1/2"	112
Anexo E: Sales solubles de agregado 1/2"	113
Anexo F: Adherencia al agregado grueso de agregado 1/2".....	114
Anexo G: Índice de durabilidad de agregado 1/2"	115
Anexo H: Caras fracturadas de agregado 1/2"	116
Anexo I: Resistencia a la abrasión de agregado 1/2"	117
Anexo J: Durabilidad con sulfato de magnesio de agregado 1/2.....	118
Anexo K: Determinación de partículas planas y alargadas de agregado 3/4"	119
Anexo L: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	120
Anexo M: Sales solubles de agregado 3/4"	121
Anexo N: Adherencia al agregado grueso de agregado 3/4"	122
Anexo O: Durabilidad de agregado 3/4"	123
Anexo P: Determinación de caras fracturadas de agregado 3/4".....	124
Anexo Q: Resistencia a la abrasión de agregado 3/4"	125
Anexo R: Durabilidad con sulfato de magnesio de agregado 3/4"	126
Anexo S: Equivalente de arena	127
Anexo T: Angularidad del agregado fino	128
Anexo U: Azul de metileno en agregados finos	129
Anexo V: Límite plástico e índice de plasticidad	130
Anexo W: Durabilidad con sulfato de magnesio	131
Anexo X: Índice de durabilidad.....	132
Anexo Y: Sales solubles	133
Anexo Z: Peso específico y absorción del agregado fino.....	134
Anexo AA: Adherencia al agregado fino	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Operacionalización.....	32
Tabla 2 Análisis granulométrico de piedra chancada 3/4”	50
Tabla 3 Análisis granulométrico de piedra chancada 1/2”	52
Tabla 4 Análisis granulométrico de arena chancada	54
Tabla 5 Análisis granulométrico de piedra chancada 3/4”	58
Tabla 6 Análisis granulométrico de piedra chancada 1/2”	60
Tabla 7 Análisis granulométrico de arena chancada	62
Tabla 8 Ensayos de agregados gruesos 3/4 “	94
Tabla 9 Ensayos de agregados gruesos 1/2 “	94
Tabla 10 Ensayos de agregados finos	95
Tabla 11 Mezcla asfáltica convencional 1	96
Tabla 12 Mezcla asfáltica convencional 2	96
Tabla 13 Mezcla asfáltica modificada 1	97
Tabla 14 Mezcla asfáltica modificada 2	97
Tabla 15 Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla convencional 1	97
Tabla 16 Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla convencional 2	98
Tabla 17 Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla modificada 1	98
Tabla 18 Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla modificada 2	98
Tabla 19 Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica convencional 1	99
Tabla 20 Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica convencional 2	99
Tabla 21 Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica modificada 1	100
Tabla 22 Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica modificada 2	100
Tabla 23 Resumen de Análisis de resultados	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Equipo para ensayo de desempeño Rueda de Hamburgo.....	10
Figura 2 Muestras de briquetas antes del ensayo de desempeño Rueda de Hamburgo..	10
Figura 3 Muestras de briquetas después del ensayo de desempeño Rueda de Hamburgo.....	11
Figura 4 Equipo para realizar el Ensayo de Lottman.....	12
Figura 5 Equipo para realizar el ensayo de Módulo Resiliente	13
Figura 6 Estructura de pavimento	15
Figura 7 Distribución de esfuerzos en la carpeta asfáltica.....	16
Figura 8 Distribución de esfuerzos en la carpeta asfáltica.....	16
Figura 9 Nueva Pista de Aterrizaje Aeropuerto Internacional Jorge Chávez – Lima – Perú, 2022.....	18
Figura 10 Proceso general de extracción y transformación del asfalto	19
Figura 11 Diagrama de flujo para la fabricación de asfaltos de petróleo	19
Figura 12 Equipo para mezcla de agregados	22
Figura 13 Polímero SBS	24
Figura 14 Ensayo de Marshall	29
Figura 15 Agregado de 3/4”.....	36
Figura 16 Agregado de 1/2”.....	36
Figura 17 Agregado grueso 3/4”.....	36
Figura 18 Agregado grueso 1/2”.....	37
Figura 19 Ensayo de partículas planas y alargadas.....	37
Figura 20 Agregado 3/4”	38
Figura 21 Partículas planas y alargadas.....	38
Figura 22 Agregado de 1/2”.....	38
Figura 23 Una cara fracturada agregado de 3/4”	39
Figura 24 Dos o más caras fracturadas agregado de 3/4”	39
Figura 25 Con una cara fracturada agregado de 1/2”	39
Figura 26 Dos o más caras fracturadas agregado de 1/2”	40
Figura 27 Piedra Chancada 3/4”	40
Figura 28 Piedra Chancada 1/2”	40
Figura 29 Ensayo de absorción	41
Figura 30 Ensayo de absorción piedra chancada de 3/4”	41

Figura 31 Piedra Chancada 3/4"	42
Figura 32 Piedra Chancada 1/2"	42
Figura 33 Ensayo Abrasión Los Ángeles	43
Figura 34 Piedra Chancada 3/4"	43
Figura 35 Piedra Chancada 1/2"	44
Figura 36 Muestra de agregado fino	44
Figura 37 Equivalente de arena	45
Figura 38 Vista de la angularidad del agregado fino	45
Figura 39 Angularidad del agregado fino	45
Figura 40 Azul de metileno	46
Figura 41 Índice de plasticidad	47
Figura 42 Durabilidad al sulfato de magnesio	47
Figura 43 Índice de durabilidad del agregado	48
Figura 44 Sales solubles en agregado	48
Figura 45 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos	49
Figura 46 Ensayo de adherencia al agregado fino	49
Figura 47 Curva granulométrica agregado 3/4	51
Figura 48 Curva granulométrica agregado 1/2	53
Figura 49 Curva granulométrica arena chancada	55
Figura 50 Tabla de gradación según norma ASTM D3515 D5	56
Figura 51 Combinación teórica de agregado grueso y fino	57
Figura 52 Curva granulométrica de combinación teórica de agregado grueso y fino	57
Figura 53 Curva granulométrica, piedra chancada 3/4"	59
Figura 54 Curva granulométrica, piedra chancada 1/2"	61
Figura 55 Curva granulométrica, arena chancada	63
Figura 56 Tabla de gradación según norma ASTM D3515 D5	64
Figura 57 Combinación teórica de agregado grueso y fino	65
Figura 58 Curva granulométrica de combinación teórica de agregado grueso y fino	65
Figura 59 Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada	66
Figura 60 Características del Marshall Modificado	67
Figura 61 Flujo vs. % Cemento Asfáltico	68
Figura 62 Peso específico vs. % Cemento Asfáltico	68
Figura 63 % Vacíos vs. % Cemento Asfáltico	69
Figura 64 % Vacíos vs. % Cemento Asfáltico	69

Figura 65 % V.M.A. vs. % Cemento Asfáltico	70
Figura 66 Estabilidad vs. % Cemento Asfáltico	70
Figura 67 Diseño de la mezcla asfáltica modificada 2 con polímeros SBS	71
Figura 68 Características del Marshall Modificado.....	72
Figura 69 Flujo vs. % Cemento Asfáltico.....	73
Figura 70 Peso específico vs. % Cemento Asfáltico	73
Figura 71 %De vacíos vs. % Cemento Asfáltico.....	74
Figura 72 %Lleno C.A. vs. % Cemento Asfáltico.....	74
Figura 73 % V.M.A. vs. % Cemento Asfáltico	75
Figura 74 Estabilidad vs. % Cemento Asfáltico	75
Figura 75 Ensayo Lottman en mezcla asfáltica convencional 1	76
Figura 76 Ensayo Lottman en mezcla asfáltica convencional 2	77
Figura 77 Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada 1	78
Figura 78 Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada 2	79
Figura 79 Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica convencional 1	80
Figura 80 Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica convencional 2.....	81
Figura 81 Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada 1 con polímeros SBS	82
Figura 82 Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada 2 con polímeros SBS	83
Figura 83 Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 1 – ESPECIMEN 1	84
Figura 84 Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 1 – ESPECIMEN 2.....	85
Figura 85 Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 2 – ESPECIMEN 1	86
Figura 86 Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 2 – ESPECIMEN 2.....	87
Figura 87 Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 1 – ESPECIMEN 1	88
Figura 88 Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 1 – ESPECIMEN 2	89
Figura 89 Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 2 – ESPECIMEN 1	90
Figura 90 Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 2 – ESPECIMEN 2	91
Figura 91 Relación Estabilidad Flujo Mezcla Convencional 1	92
Figura 92 Relación Estabilidad Flujo Mezcla Convencional 2	93
Figura 93 Relación Estabilidad Flujo Mezcla Modificada 1	93
Figura 94 Relación Estabilidad Flujo Mezcla Modificada 2	93

RESUMEN

Para la realización de toda obra de ingeniería, es necesario seguir una serie de lineamientos y parámetros de diseño y construcción establecidos en diversas normas y reglamentos cuyo principal objetivo es incidir en la seguridad y el tiempo de vida útil de la obra y en la comodidad del usuario.

En el caso específico de la construcción de pavimentos, existe una norma técnica peruana de pavimentos que en algunos aspectos se ve complementada con ciertas normas extranjeras de países mucho más desarrollados en materia de pavimentos.

Un requisito indispensable de la Norma peruana EG-2013 es el que se refiere a la exigencia de solicitar valores en un rango determinado para la relación Estabilidad-Flujo. En esta investigación se ha podido determinar que el requisito exigido en la normativa vigente EG-2013 que estipula un rango determinado para la relación Estabilidad-lujo (1700 kg/cm – 4000 kg/cm), debería ser irrelevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros, pues aun no estando dentro de este rango, se cumplen satisfactoriamente los ensayos de desempeño realizados. Es fundamental indicar los valores de estabilidad y fluencia obtenidos, pero la relación entre ellos no tendría necesariamente que cumplir con dicho rango.

Para ello, se realizará la toma de muestras, los ensayos de laboratorio y los ensayos de desempeño necesarios que fundamenten nuestras hipótesis, nuestros resultados, conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: Rango, relación Estabilidad-Flujo, mezclas asfálticas, mezclas asfálticas convencionales, mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

ABSTRACT

For the execution of any engineering project, it is necessary to adhere to a series of design and construction guidelines and parameters established in various standards and regulations. The primary objective of these standards and regulations is to impact the safety and service life of the project and the comfort of the end user.

In the specific case of pavement construction, there is a Peruvian technical standard for pavements, which is complemented in some aspects by certain foreign standards from countries that are much more advanced in pavement technology.

An essential requirement of the Peruvian Standard EG-2013 is related to the demand for values within a specified range for the Stability-Flow ratio.

Through this research, it has been determined that the requirement stipulated in the current EG-2013 regulation, which specifies a specific range for the Stability-Flow ratio (1700 kg/cm – 4000 kg/cm), should be irrelevant for the design of conventional and polymer-modified asphalt mixtures. Even if the values fall outside this range, the performance tests are satisfactorily met. It is crucial to report the stability and flow values obtained, but the relationship between them does not necessarily have to conform to this range.

To support our hypotheses, results, conclusions, and recommendations, we will carry out the necessary sampling, laboratory tests, and performance tests.

Keyword words: Range, Stability-Flow relationship, asphalt mixtures, asphalt mixtures, conventional asphalt mixtures, polymer-modified asphalt mixtures.

INTRODUCCIÓN

En el año 2013 se estableció el Manual de Carreteras EG-2013 para delimitar los criterios de diseño, control, mantenimiento y mejoramiento de pavimentos en el Perú. Es una norma técnica única en su género ya que no existe norma alguna con requisitos y criterios de diseño similares, obligando a diseñadores de mezclas asfálticas someterse a los parámetros establecidos en ésta. Uno de los parámetros de mayor conflicto de diseño es el de la llamada, relación Estabilidad-Flujo, criterio que actualmente no es considerado de gran relevancia en relación al diseño de mezclas asfálticas en diferentes partes del mundo; sin embargo, en el Perú sigue siendo relevante para el diseño en base a las directivas de la normativa nacional. Es por ello que la presente investigación está orientada a demostrar que dicho criterio debe dejar de ser considerado para diseñar mezclas asfálticas convencionales y modificadas. En base a la realidad internacional, este parámetro puede omitirse, tomando como justificación el desarrollo de una serie de ensayos para demostrar el desempeño de las mezclas, a pesar de no cumplir con el parámetro de relación Estabilidad-Flujo. Esta investigación está distribuida de la manera siguiente:

En el capítulo 1 se realizó un planteamiento y delimitación del problema, materia de la investigación, así como también el planteamiento del objetivo general y los objetivos específicos.

En el capítulo 2 se describe el marco teórico mediante investigaciones precedentes que sirven como base para la presente investigación, además de las definiciones y teoría relevantes para el mejor entendimiento de la misma.

En el capítulo 3, se detalla el planteamiento del sistema de hipótesis, conformado por la hipótesis general y las hipótesis específicas, además de la determinación de la variable dependiente e independiente, que en el presente caso son dos, mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS.

En el capítulo 4, se presenta la metodología de la investigación.

En el capítulo 5, se detalla el procedimiento, resultados, análisis y contrastación de resultados de los ensayos de desempeño y ensayos de laboratorio, para poder verificar la veracidad del tema materia de esta investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

A raíz de la aparición de nuevos descubrimientos tecnológicos que mejoran la calidad y vida útil de los pavimentos, se vienen generando hace algunos años en nuestro país, durante los trabajos de colocación de mezclas asfálticas, ciertas controversias entre la supervisión de la obra y los ejecutores de la misma, debido a una fuerte tendencia actual al uso de mezclas modificadas con polímeros, las cuáles, en la mayoría de los casos, exceden los valores del rango de la relación Estabilidad-Flujo señalado en la Norma EG-2013 para el diseño de mezclas asfálticas, lo que genera una limitante problemática durante el desarrollo de una obra; este parámetro, exigido por la norma, genera que los constructores soliciten a la empresa fabricante del asfalto adecuarse a dicho rango, lo cual en la mayoría de los casos, es imposible pues, por característica intrínseca de este polímero, mejoran los valores de Estabilidad y de Flujo y en consecuencia, el cociente entre las dos. Por ello, en esta investigación se buscará demostrar que dicho rango exigido en la norma no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con polímeros; si ello fuese así, podremos sugerir al Ministerio de Transportes y Comunicaciones la posibilidad de analizar su relevancia como requisito o exigencia en la Norma Técnica Peruana para pavimentos EG-2013.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Es relevante el rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros SBS, establecido en la normativa del Manual de Carreteras EG-2013?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿De qué manera el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el método de Marshall, que establece la normativa del Manual de Carreteras EG-2013, influye en el diseño de mezclas asfálticas convencionales?

b) ¿De qué manera el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el método de Marshall, que establece la normativa del Manual de Carreteras EG-2013, influye en el diseño de mezclas asfálticas modificadas?

1.3 Importancia y justificación del estudio

Actualmente en el Perú se considera para el diseño de mezclas asfálticas el parámetro de relación Estabilidad-Flujo, el cual es un criterio que genera conflicto entre diseñadores y

supervisores en el ámbito de la ingeniería vial nacional, esto debido a la exigencia de este parámetro detallado en la norma para el diseño de una mezcla asfáltica.

La presente investigación tiene como finalidad demostrar que en el caso de la relación Estabilidad-Flujo, el rango que delimita su valor (1700 kg/cm – 4000 kg/cm) en el Manual de Carreteras EG-2013, debe ser irrelevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas.

1.4 Limitaciones de Estudio

El conjunto de pruebas necesarias para el presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de la empresa C.A.H Contratista Generales S.A.C., bajo la supervisión del gerente técnico y jefe de laboratorio.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

Establecer el criterio de relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas, para obviar su exigencia en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros, aplicando el método de Marshall, año 2023.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Determinar mediante el método de Marshall, la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas convencionales.
- b) Determinar mediante el método de Marshall, la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

En Perú, en 1984, se introdujo una relación entre estabilidad y flujo en el diseño de mezclas asfálticas debido a problemas de agrietamiento en zonas de gran altitud y baja temperatura. Esta propuesta, conocida como DEE_MTC_1984, fue inicialmente opcional, pero sirvió para orientar a los diseñadores de mezclas en caliente, evitando mezclas con alta estabilidad y bajo flujo.

Antes de esta propuesta, la estabilidad rondaba los 340 kg, pero desde entonces, fluctuó entre 450 y 680 kg. En 2000, la norma EG-2000 permitía una estabilidad de hasta 815 kg. En la actualidad, la norma EG-2013 establece una estabilidad máxima de 831 kg.

En un principio el valor de flujo, tenía un valor de 2 mm, habiendo experimentado en el tiempo, cambios menores, llegando a valores de 2.032 mm en la actualidad y máximos que oscilan entre 3.556mm y 4 mm.

La relación Estabilidad-Flujo ha variado con el tiempo, pasando de entre 1,100 y 2,500 kg/cm en el año 1984, a entre 1,700 y 2,500 kg/cm en el año 2000 y finalmente, entre 1,700 y 4,000 kg/cm en el año 2013.

Comparativamente con otros países, en Colombia, las especificaciones técnicas INVIAS-2012 establecen un rango de entre 3.0 kg/mm y 6.0 kg/mm para la relación Estabilidad-Flujo (kilonewton/milímetro), lo que equivale a entre 3,000 kg/mm y 6,000 Kg/mm.

En resumen, a lo largo de los años, Perú ha modificado los parámetros de estabilidad y flujo en el diseño de mezclas asfálticas y estas variaciones también se observan en otros países como Colombia.

2.1.1 Investigaciones internacionales

Acevedo (2021), en su investigación “Influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall” determinaron la influencia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica, enfocada en la relevancia de la forma de los agregados en la estabilidad y flujo de mezclas asfálticas, concluyendo que cuando se reemplazan los tamaños de distribución, aumentando la cantidad del material de forma redondeada en lugar de agregados con caras fracturadas, generalmente, aumenta la resistencia de la mezcla.

Escalante (2007), en su tesis “Evaluación de mezclas asfálticas peruanas producidas con asfalto convencional (PEN 60/70) y con asfalto modificado con polímero SBS Tipo I (60/60) y PG 76-22” realizó un análisis comparativo entre mezclas producidas con

ligantes asfálticos peruanos convencionales y modificados por el polímero SBS del cual no se tenía antecedentes de su uso en obra por ser un producto nuevo en el mercado peruano.

Morea (2011), en su investigación “Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas, efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga” el objetivo fue el estudio y caracterización de las deformaciones permanentes en mezclas asfálticas para uso vial por medio de pruebas de laboratorio como la rueda cargada; concluyó que la propiedad reológica más conveniente para caracterizar los ligantes asfálticos en cuanto a resistencia al ahuellamiento es la LSV.

Borja & Cardenas (2019) en la tesis 'Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS', tuvo como objetivo caracterizar mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS, mediante la determinación de parámetros resistentes relacionados con la deformación plástica. concluyeron que el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS y SBR ha tenido mejoras significativas en comparación con las mezclas convencionales.

2.1.2. Investigaciones nacionales

Villafana & Ramirez (2019) su tesis “Análisis del comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímeros sbs betutec ic y una mezcla asfáltica convencional 60/70” tiene como objetivo el análisis de mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con el polímero SBS. Parte de la investigación estudia la relevancia de la estabilidad y flujo en dichas mezclas, y se concluyó que, a diferencia de la mezcla asfáltica convencional, la mezcla asfáltica modificada mejora las propiedades de la mezcla, obteniendo una mayor estabilidad y fluencia.

Huillcapoma & Figueroa (2022), su investigación “Propiedades de la mezcla asfáltica y su incidencia en el ahuellamiento” tiene como objetivo el análisis de las propiedades de mezclas asfálticas y su repercusión en la deformación por ahuellamiento; se concluye que las propiedades de vacíos de aire y fluencia influyen en la presencia del fenómeno de ahuellamiento en un pavimento.

Alarcón & Cárdenas (2021), su investigación “Mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS para la optimización de las propiedades de la mezcla asfáltica” tiene como objetivo demostrar las utilidades que se obtiene al adicionar el polímero SBS al asfalto, estas se muestran en el comportamiento mecánico y performance de la mezcla asfáltica; se concluyó que, el uso de dicho polímero generó un destacado aumento en su estabilidad.

Mucha (2022), su tesis “Análisis para la correlación de resultados de la resistencia de mezclas asfálticas en caliente utilizando los ensayos de compresión diametral de Marshall y Tracción Indirecta de Lottman en Huancayo 2020” tiene como objetivo analizar la relación de resultados de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando los ensayos de compresión diametral Marshall y tracción indirecta Lottman. En los ensayos realizados se comprobó que la relación Estabilidad-Flujo fluctúa en base a la cantidad del porcentaje de asfalto utilizado en el diseño de la mezcla.

Calva (2017) su tesis “Estabilidad y Flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escoria de acero” tiene como objetivo evaluar la estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente incorporando escoria, se concluyó que agregar escoria de acero mejora los índices de la estabilidad y flujo en el diseño de mezcla.

2.2 Bases teóricas

Las bases sobre las que se sustenta esta investigación son la variable independiente y las variables dependientes que son el rango de la relación Estabilidad-Flujo y los ensayos de desempeño y Ensayo de Lottman, respectivamente.

2.2.1. Estabilidad y fluencia

Estabilidad en mezclas asfálticas

La estabilidad de Marshall muestra la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir empujones y surcos. El flujo muestra la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir el asentamiento gradual y la deformación sin agrietarse (Veropalumbo, Viscione, & Formisano, 2018).

La estabilidad es su capacidad para resistir el desplazamiento y la deformación bajo cargas de tráfico, el valor de estabilidad de Marshall es una medida de la carga a la que la muestra se entrega o se destruye por completo, durante la prueba, cuando se aplica lentamente, las cabezas superior e inferior del dispositivo se acercan y la carga sobre el bloque de presión aumenta, después se obtiene la carga máxima, este es el valor de estabilidad de Marshall, Cabrera (2016).

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, Álvarez & Carrera (2016).

La estabilidad en mezclas asfálticas se refiere a la facultad de la mezcla para soportar deformaciones permanentes y fallas bajo la aplicación de cargas de tráfico y condiciones ambientales. Una mezcla asfáltica estable es aquella que puede soportar las cargas

repetidas del tráfico y mantener su integridad estructural con un mínimo de deformación y agrietamiento.

Lograr una estabilidad óptima en una mezcla asfáltica es esencial para garantizar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo del pavimento. El diseño cuidadoso de la mezcla, la selección de materiales adecuados y la implementación correcta en el campo son fundamentales para lograr una estabilidad satisfactoria.

Fluencia en mezclas asfálticas

La fluencia en mezclas asfálticas, también conocida como deformación plástica, se trata de la deformación permanente que ocurre en una mezcla asfáltica bajo cargas sostenidas o repetidas. Esta deformación puede resultar en huellas y deformaciones en la superficie del pavimento con el tiempo. La fluencia es una preocupación importante en el diseño y la evaluación de pavimentos, ya que puede afectar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de la carretera.

El ensayo de fluencia se puede realizar en el laboratorio para analizar la susceptibilidad de una mezcla asfáltica a la deformación plástica. Un pavimento que exhibe una fluencia excesiva puede requerir ajustes en el diseño y el proceso de construcción para mitigar este efecto y garantizar la vida útil y el rendimiento deseado del pavimento.

2.2.2. Ensayos de laboratorio

Ensayos Agregados Gruesos

Desgaste Los Ángeles:

Este ensayo mide la resistencia de los agregados gruesos a la abrasión y al desgaste. Los resultados pueden ayudar a prever el desempeño de la mezcla en el campo.

Ensayo de Adherencia

El objetivo principal de este ensayo es evaluar la capacidad de los agregados gruesos para adherirse al ligante asfáltico en una mezcla asfáltica. Una buena adherencia contribuye a prevenir el desprendimiento de los agregados y, por lo tanto, a mantener la calidad y la durabilidad del pavimento.

Ensayo de Índice de Durabilidad

El objetivo principal de este ensayo es evaluar la resistencia de los agregados gruesos a la degradación y el desgaste causados por la humedad, el ciclo de congelación y descongelación, así como el tráfico vehicular. La durabilidad de los agregados es esencial para mantener la integridad estructural de los pavimentos y evitar la formación prematura de baches y deformaciones.

Ensayo de partículas chatas alargadas

El objetivo principal del ensayo de partículas planas y alargadas es identificar y cuantificar las partículas de agregados que tienen formas geométricas planas y alargadas, ya que éstas pueden tener un impacto negativo en la resistencia y la durabilidad de la mezcla asfáltica o de hormigón.

Ensayo de caras fracturadas

El objetivo principal del ensayo de caras fracturadas de agregados gruesos es evaluar la cantidad de partículas de agregados que tienen caras fracturadas o superficies rugosas. Estas caras fracturadas pueden tener un impacto negativo en la adherencia entre las partículas y en la resistencia de la mezcla.

Ensayo de sales solubles totales

El propósito fundamental del ensayo de sales solubles totales en agregados gruesos es cuantificar la cantidad de sales solubles, tales como sulfatos y cloruros, que se encuentran en los agregados. Estas sales pueden originarse de diversas fuentes, incluyendo el agua empleada en el proceso de producción de los agregados o las impurezas inherentes a los propios agregados.

Ensayo de absorción

El objetivo principal del ensayo de absorción de agregados gruesos es medir la cantidad de agua que un agregado puede retener cuando se sumerge en agua durante un período de tiempo específico. Esta información resulta útil para calcular la cantidad de agua necesaria para alcanzar las propiedades deseadas en una mezcla, como resistencia y facilidad de trabajo.

Ensayos Agregados Finos

Equivalente arena

Este ensayo se realiza para evaluar la limpieza y calidad del agregado fino utilizado en el diseño de mezclas asfálticas. El objetivo es determinar la cantidad de partículas de material fino y contaminantes que pueden afectar la calidad de la mezcla asfáltica.

Angularidad del agregado fino

La angularidad del agregado fino es importante en el diseño de mezclas asfálticas, ya que puede afectar la estabilidad y la resistencia de la mezcla. Este ensayo mide la forma y la textura de las partículas para asegurar que cumplan con los requisitos de angularidad necesarios.

Azul Metileno

En el diseño de mezclas asfálticas, este ensayo se utiliza para detectar la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino, lo que podría debilitar la adherencia del asfalto a las partículas del agregado.

Índice de plasticidad

Este ensayo se realiza para evaluar la plasticidad de los suelos finos. Este índice se utiliza para clasificar los suelos y predecir su comportamiento en proyectos de construcción.

Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio

Evalúa la resistencia del agregado fino a la acción de soluciones de sulfato de sodio y magnesio, lo que podría prevenir problemas de durabilidad en la mezcla.

Sales Solubles Totales

La cantidad de sales solubles en el agregado fino puede afectar la reactividad álcali-agregado y la durabilidad de la mezcla asfáltica. Este ensayo ayuda a determinar si los agregados cumplen con los estándares requeridos.

Absorción

Este ensayo mide la capacidad del agregado para absorber agua. La absorción de agua por parte del agregado fino es importante en el diseño de mezclas asfálticas, ya que puede afectar la cantidad de asfalto necesario en la mezcla.

Ensayos de Desempeño

Rueda de Hamburgo

Es un procedimiento de evaluación de laboratorio empleado para medir la capacidad de resistencia a la deformación permanente y a la fatiga de las mezclas asfálticas. Este ensayo reproduce las condiciones del tráfico real y resulta especialmente valioso para evaluar la durabilidad de mezclas asfálticas en circunstancias de carga repetida y tensiones rutinarias.

El ensayo de la Rueda de Hamburgo involucra una muestra cilíndrica de mezcla asfáltica, que se coloca en una máquina especial que aplica una carga vertical continua mientras la muestra está en contacto con ruedas de acero giratorias. La rueda de acero se mueve en sentido circular y aplica cargas repetidas sobre la muestra, simulando las cargas y deformaciones que se experimentarían en una carretera real.

En la figura 1 se ilustra el equipo para realizar dicha prueba de desempeño.

Figura 1

Equipo para ensayo de desempeño Rueda de Hamburgo



Nota. Elaboración propia

Para el ensayo de rueda de Hamburgo se utilizan briquetas, en la Figura 2 se ilustra antes de ser sometidas a la prueba.

Figura 2

Muestras de briquetas antes del ensayo de desempeño Rueda de Hamburgo



Nota. Elaboración propia

En la Figura 3 se ilustra las briquetas luego de la prueba de rueda de Hamburgo.

Figura 3

Muestras de briquetas después del ensayo de desempeño Rueda de Hamburgo



Nota. Elaboración propia

El resultado del ensayo es la cantidad de deformación acumulada o el número de ciclos que la muestra puede soportar antes de desarrollar un nivel específico de daño. Esto proporciona información valiosa sobre cómo la mezcla asfáltica se comportará en condiciones reales de tráfico y ayuda en la toma de decisiones para el diseño y la selección de mezclas asfálticas adecuadas para pavimentos duraderos.

La Rueda de Hamburgo es una prueba importante en el diseño de pavimentos, ya que ayuda a identificar mezclas que puedan ser susceptibles a deformaciones permanentes y fatiga debido al tráfico repetido. Esto es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de las carreteras y otras superficies de pavimento.

Ensayo de Lottman

Para evaluar el daño causado por la humedad en las mezclas asfálticas, se emplean varios métodos, y uno de los más comunes es el método de tensión indirecta, también conocido como Lottman Modificado (AASHTO T 283). En este ensayo, se llevan a cabo pruebas en seis especímenes compactados, los cuales se dividen en dos grupos de tres. En la Figura 4 se puede apreciar el equipo para poder realizar dicha prueba de laboratorio.

Figura 4

Equipo para realizar el Ensayo de Lottman



Nota. Elaboración propia

El primer grupo, llamado grupo control, no se somete a ningún tratamiento de acondicionamiento. El segundo grupo se satura con agua hasta alcanzar un nivel de humedad del 55% al 80%. Luego, este segundo grupo se sumerge en agua a una temperatura de 60°C durante 24 horas. Finalmente, todos los especímenes se acondicionan a temperatura ambiente y se evalúan en una prensa Marshall para determinar la tensión diametral.

Este método posibilita la evaluación de la sensibilidad de las mezclas asfálticas al daño causado por la humedad, y ofrece información esencial acerca de su capacidad de resistencia en diversas situaciones.

Módulo Resiliente

El módulo de resiliencia es una propiedad mecánica importante utilizada en la ingeniería de pavimentos para evaluar la capacidad de una capa de pavimento para absorber y recuperarse de deformaciones elásticas inducidas por cargas de tráfico. Se define como la relación entre el esfuerzo de corte y la deformación unitaria cíclica de una capa de

pavimento durante un ensayo de carga repetida. En la Figura 5 se aprecia el equipo utilizado para la realización de este ensayo de laboratorio.

Figura 5

Equipo para realizar el ensayo de Módulo Resiliente



Nota. Elaboración propia

El módulo de resiliencia es especialmente relevante en el diseño de pavimentos flexibles, como los pavimentos asfálticos, donde las capas pueden experimentar deformaciones elásticas significativas bajo cargas de tráfico. También se utiliza en la metodología de diseño de pavimentos mecanístico-empíricos para predecir el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo.

Es importante destacar que el módulo de resiliencia es solo una de las muchas propiedades mecánicas que se consideran en el diseño y análisis de pavimentos, y su cálculo y aplicación pueden variar según los métodos y estándares específicos utilizados en la ingeniería de pavimentos.

Pavimento Asfáltico

Un pavimento es una estructura que se encuentra entre la subrasante y la superficie de rodadura, diseñada para permitir un desplazamiento seguro y cómodo de vehículos en carreteras y áreas de circulación. Su principal función es soportar el tráfico, resistir las condiciones climáticas y distribuir las cargas hacia la subrasante sin exceder su capacidad de soporte.

El pavimento asfáltico es un tipo de pavimento compuesto por varias capas, siendo la capa superior de concreto asfáltico. Esta capa se compone de ligante asfáltico, que es un producto derivado del petróleo, agregados pétreos, filler y, en algunos casos, modificadores. Se le llama "flexible" porque se deforma bajo carga y recupera su forma una vez que la carga se retira.

Carpeta Asfáltica

Es la capa superior del pavimento, hecha de una mezcla de agregados minerales y ligante asfáltico. Es la parte del pavimento que se encuentra en contacto directo con el tráfico y debe soportar las cargas de los vehículos, junto con la base y la subbase. Además, debe proporcionar una superficie de conducción segura y resistir las condiciones adversas de temperatura y el tránsito.

Base

La base es una capa ubicada bajo la carpeta asfáltica y su función principal es proporcionar el soporte estructural al pavimento. Su tarea consiste en distribuir las cargas del tráfico hacia la subbase y la subrasante.

Sub-Base

La subbase se ubica sobre la subrasante y tiene el propósito de ofrecer soporte estructural adicional al pavimento. Su función es mejorar la capacidad de carga del pavimento y distribuir las cargas de manera uniforme hacia la subrasante. En términos de calidad de materiales, la subbase puede utilizar materiales de menor calidad en comparación con la base, ya que los esfuerzos verticales que se conducen a través de las capas del pavimento son más intensos en la superficie y disminuyen a medida que se profundiza.

Sub Rasante

La subrasante es la parte del terreno en la que se apoya la estructura del pavimento asfáltico. Cuando esta subrasante está formada por un suelo de baja capacidad de carga, es decir, un suelo de mala calidad, es necesario mejorarla mediante procesos de estabilización química o mecánica. En la Figura 6 se ilustra la distribución estructural del pavimento.

Figura 6

Estructura de pavimento



Nota. Elaboración Propia

Comportamiento estructural del pavimento

El comportamiento estructural del pavimento se refiere a la manera en que el pavimento responde y se comporta frente a las cargas del tráfico y las condiciones ambientales. Esto significa que el pavimento debe ser capaz de resistir las cargas del tráfico sin experimentar deformaciones excesivas ni sufrir daños estructurales.

Esfuerzos de carga vertical

Los esfuerzos de carga vertical son producidos por las cargas estáticas y dinámicas generadas por los vehículos que circulan sobre el pavimento. Estos esfuerzos se transfieren desde la capa de rodadura o carpeta asfáltica hacia las capas inferiores del pavimento.

Esfuerzos de tracción y compresión

Durante el tránsito de los vehículos, la carpeta asfáltica está sometida a esfuerzos de tracción y compresión. Cuando un vehículo circula sobre la carpeta asfáltica, las capas inferiores se comprimen, lo que genera esfuerzos de compresión en la carpeta asfáltica. Por otro lado, durante el paso de los vehículos, las capas inferiores se expanden, generando esfuerzos de tracción en la carpeta asfáltica. Estos esfuerzos son parte de las

tensiones que el pavimento debe resistir para mantener su integridad y durabilidad. En la Figura 7 se ilustra la distribución de la carpeta asfáltica.

Figura 7

Distribución de esfuerzos en la carpeta asfáltica

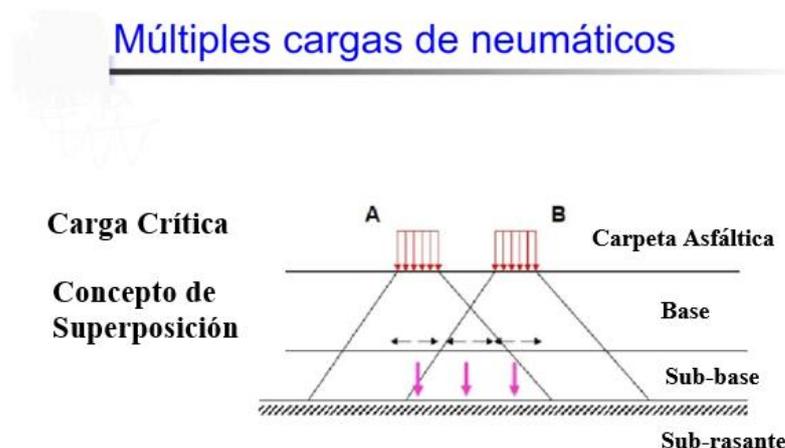


Nota. Huamán (2023)

Estos esfuerzos se generan simultáneamente debido al constante paso de numerosos vehículos, y como resultado, numerosos neumáticos, a lo largo del tiempo. Esto ocasiona esfuerzos de compresión y tensión en diferentes direcciones, a menudo opuestas entre sí, lo que somete al pavimento a un estrés constante. Además, la calidad de los materiales utilizados, incluidos los polímeros en el caso de mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, desempeña un papel fundamental en la resistencia del pavimento a estos esfuerzos. En la Figura 8 se ilustra estos esfuerzos.

Figura 8

Distribución de esfuerzos en la carpeta asfáltica



Nota. Elaboración propia

Diseño Estructural de Pavimentos

Este procedimiento implica calcular el espesor de cada capa del paquete estructural y seleccionar los materiales y dimensiones adecuados para crear superficies de carreteras, calles, entre otras. Estos pavimentos pueden ser diseñados y construidos utilizando mezclas en caliente, en tibio o en frío.

Para que estos pavimentos cumplan con los estándares de calidad y ofrezcan un excelente rendimiento, deben presentar las siguientes características:

Función estructural para soportar y distribuir las cargas del tráfico.

Durabilidad óptima, con una vida útil que oscile entre 6 y 10 años.

Alta resistencia a condiciones climáticas extremas.

Mínimas señales de desgaste, como agrietamientos, desgranamientos o baches.

Seguridad, al proporcionar un buen agarre, especialmente en condiciones de lluvia.

2.3. Papel fundamental de la Carpeta de Rodadura

Este componente desempeña un papel esencial en el paquete estructural de un pavimento de asfalto, ya que es fundamental para garantizar la durabilidad, el rendimiento y la seguridad de las carreteras y superficies de rodadura. Esta capa superior, compuesta por una mezcla de agregados minerales y ligante asfáltico, está directamente en contacto con el tráfico y, por lo tanto, debe ser capaz de soportar las cargas de los vehículos de manera efectiva. Además, la carpeta asfáltica proporciona una superficie de conducción adecuada al ofrecer resistencia al deslizamiento.

La calidad y el rendimiento de la carpeta asfáltica son fundamentales para el tiempo de vida del pavimento. Debe ser resistente a los efectos del clima, como la lluvia, el calor y el frío extremos, así como a los esfuerzos producidos por las cargas de tráfico. Su capacidad para resistir esfuerzos de tracción y compresión, además de su capacidad de recuperación de deformaciones bajo carga, es esencial para mantener un pavimento en buen estado durante años.

En resumen, la carpeta asfáltica desempeña un papel crítico en la capacidad del pavimento para resistir las cargas del tráfico y las condiciones ambientales, lo que la convierte en un componente esencial del paquete estructural del pavimento asfáltico. Su diseño y calidad son determinantes para la durabilidad y el rendimiento de las carreteras y superficies de rodadura. En la Figura 9 se aprecia la maquinaria para la ejecución de la carpeta asfáltica de la nueva pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Figura 9

Nueva Pista de Aterrizaje Aeropuerto Internacional Jorge Chávez – Lima – Perú, 2022



Nota. Elaboración propia

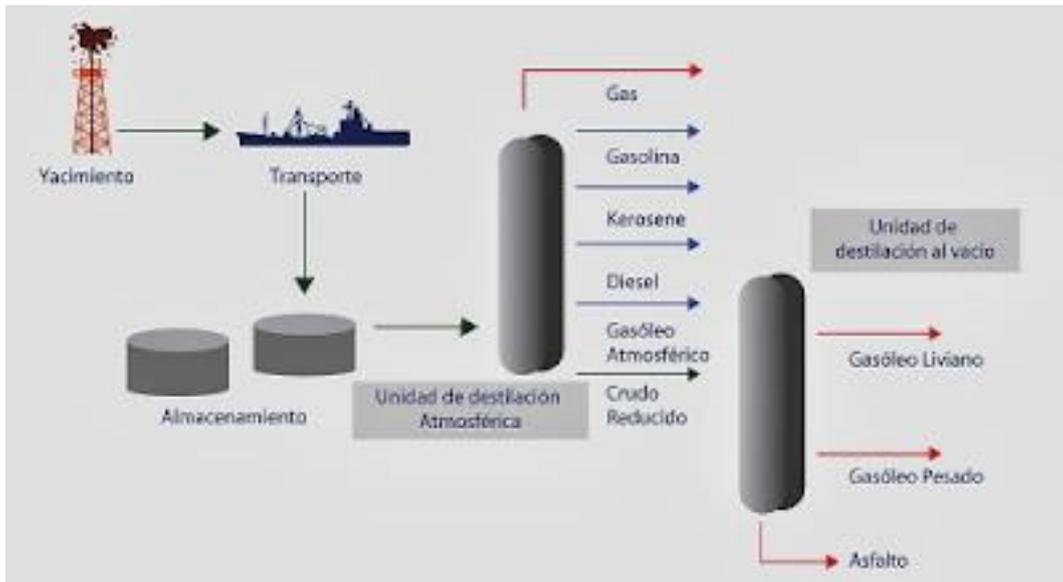
2.4. Materiales

2.4.1. *Cemento asfáltico de petróleo (CAP)*

El Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) es un producto utilizado en la construcción de pavimentos, que puede ser sólido o semisólido a temperatura ambiente y líquido a altas temperaturas. Se comporta de manera termoplástica, lo que significa que se convierte en líquido cuando se calienta y regresa a su estado original al enfriarse. Este material, de color negro o pardo oscuro, es un componente bituminoso y aglomerante que se deriva de hidrocarburos pesados, obtenidos mediante la refinación del petróleo crudo. Se utiliza como aglutinante para los áridos en mezclas asfálticas densas o semi-densas, especialmente en la construcción de capas de rodadura o carpeta asfáltica en carreteras. Su uso se basa en un diseño específico que considera parámetros como el tráfico y la temperatura. Es importante distinguir entre el cemento y la emulsión asfálticos, que se utiliza en tratamientos superficiales y no en capas estructurales. En la Figura 10 se ilustra el proceso de extracción de este componente.

Figura 10

Proceso general de extracción y transformación del asfalto

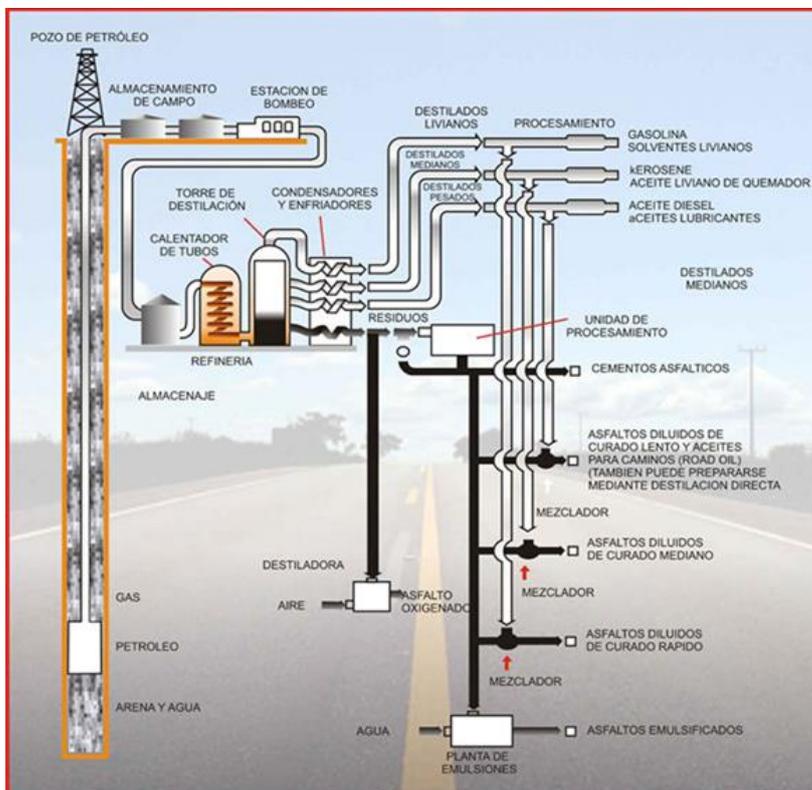


Nota. Adaptado de BlogSpot (2012).

En la Figura 11 se ilustra el flujo para la fabricación de asfaltos.

Figura 11

Diagrama de flujo para la fabricación de asfaltos de petróleo



Nota. Adaptado de BlogSpot (2012).

2.4.2. *Cemento Asfáltico Convencional*

El asfalto convencional es una sustancia sólida o semisólida que se utiliza en la construcción de pavimentos como parte del paquete estructural del asfalto. Se obtiene mediante la fusión de cemento asfáltico de petróleo y diversos agregados, como parte de la mezcla que conforma las carpetas asfálticas. Su uso se adapta a las condiciones específicas de diseño, incluyendo la frecuencia y carga vehicular, así como las condiciones climáticas a las que estará expuesto a lo largo del tiempo.

El asfalto convencional tiene una larga historia de uso y se remonta a épocas antiguas. Se utilizaba en diversas aplicaciones, como aglutinante en construcciones y para impermeabilizar estructuras. Destaca por su capacidad para aglutinar, impermeabilizar, así como por su resistencia a sustancias corrosivas. Se clasifica según su consistencia, medida en términos de viscosidad dinámica o absoluta y penetración (PEN), y su comportamiento reológico depende de la fuente de procedencia y el proceso de refinación del asfalto.

2.4.3. *Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros*

El cemento asfáltico modificado con polímeros es un material utilizado en la construcción de pavimentos que combina asfalto y polímeros para mejorar las propiedades y el rendimiento de las mezclas asfálticas. Los polímeros son aditivos que se mezclan con el asfalto para proporcionar beneficios adicionales en términos de resistencia, durabilidad y capacidad de deformación.

Beneficios del Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros:

Mayor resistencia a la fatiga: Los polímeros en el CAMP aumentan la resistencia a la fatiga del asfalto, lo que significa que la mezcla puede soportar mejor las cargas repetitivas del tráfico sin fisurarse o deformarse prematuramente.

Mejor resistencia a la deformación: El CAMP tiene una mayor resistencia a la deformación plástica y viscosa, lo que es especialmente importante en áreas con altas temperaturas y tráfico pesado.

Mayor vida útil del pavimento: Al mejorar la resistencia y durabilidad del asfalto, el CAMP puede prolongar la vida útil del pavimento, reduciendo los costos de mantenimiento y rehabilitación a lo largo del tiempo.

Mayor resistencia a la humedad: El CAMP es más resistente al deterioro causado por la humedad, lo que es beneficioso en regiones con condiciones climáticas adversas.

Aplicaciones del CAMP:

Carreteras y autopistas de alto tráfico.

Aeropuertos, especialmente en pistas de aterrizaje y calles de rodaje.

Áreas industriales y puertos.

Es importante acotar que el diseño y la mezcla del CAMP deben realizarse adecuadamente para obtener los beneficios deseados. El contenido de polímero y las proporciones de los demás componentes de la mezcla asfáltica deben ajustarse según las especificaciones técnicas y las condiciones específicas del proyecto.

2.4.4. Agregados

Los agregados, que se obtienen de canteras tanto en áreas montañosas como en lechos de ríos, están compuestos principalmente por una mezcla de grava y arena. Se denominan "granulares" y son de uso común en la construcción de carreteras. A veces, para mejorar su comportamiento, se pueden mezclar con aditivos estabilizadores. Además, mediante máquinas clasificadoras, es posible procesar estos agregados para que puedan utilizarse como un complemento en la fabricación de concreto flexible o concreto hidráulico.

Agregados Minerales Gruesos

También conocido como grava, es el agregado con partículas más grandes. Estas partículas pueden variar desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros de tamaño. El agregado grueso proporciona estabilidad estructural a la mezcla asfáltica y ayuda a resistir las cargas del tráfico.

Agregados Minerales Finos

También conocido como arena, es el agregado con partículas más pequeñas, generalmente de tamaño menor a 5 mm. El agregado fino se utiliza para rellenar espacios vacíos entre partículas del agregado grueso y para proporcionar cohesión a la mezcla.

Gradación

La gradación se refiere a la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados en la mezcla. Una gradación adecuada es esencial para adquirir una mezcla asfáltica de buenas propiedades de resistencia y compactación.

Filler o Polvo Natural

El "filler", también conocido como "agregado fino mineral" o "relleno mineral", es un material pulverulento que se agrega a las mezclas asfálticas y de concreto para mejorar sus propiedades. Se compone generalmente de partículas pequeñas y finas, a menudo con tamaños inferiores a 0.075 mm (200 mallas).

Funciones y Beneficios:

Cohesión y Durabilidad: El "filler" mejora la cohesión de la mezcla, ayudando a unir los agregados y proporcionando estabilidad a la estructura del pavimento.

Optimización de la Granulometría: Permite ajustar la gradación de la mezcla asfáltica, llenando los huecos entre las partículas de los agregados gruesos y finos para lograr una mezcla más densa y resistente.

Reducción de Vacíos: Ayuda a reducir vacíos entre las partículas, lo que mejora su resistencia a la penetración de agua y otros agentes dañinos.

Reducción de la Cantidad de Asfalto: Al permitir una mayor compactación y adherencia entre los agregados y el asfalto, se puede reducir la cantidad de asfalto requerida para alcanzar las propiedades de la mezcla, lo que puede ser beneficioso en términos de costos y sostenibilidad.

Mezcla de Agregados

Se refiere a la combinación de diferentes tipos y tamaños de agregados pétreos, como grava y arena, en proporciones específicas para crear la base de una mezcla asfáltica utilizada en la construcción de pavimentos. La adecuada mezcla de agregados es esencial para lograr las propiedades deseadas en la mezcla final, como resistencia, durabilidad y capacidad de soportar las cargas del tráfico. En la Figura 12 se aprecia la maquina para realizar la mezcla de agregados.

Figura 12

Equipo para mezcla de agregados



Nota. Elaboración propia

Objetivos de la mezcla de agregados:

Optimización de la Gradación: La gradación se refiere a la distribución de tamaños de partículas de los agregados. Una gradación adecuada implica una mezcla de agregados gruesos y finos en proporciones específicas para llenar los espacios entre las partículas y lograr una mezcla densa y resistente.

Mejora de la Trabajabilidad: Una mezcla de agregados bien diseñada permite que el material sea trabajable y fácil de compactar durante la construcción.

Optimización del Contenido de Asfalto o Cemento: La selección adecuada de la mezcla de agregados puede influir en la cantidad de asfalto o cemento necesaria para lograr las propiedades deseadas de la mezcla final.

2.4.5. Polímeros

Los polímeros son sustancias con moléculas más grandes de lo habitual, caracterizadas por su alto peso molecular. Están formados por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. En el caso del polímero SBS, las moléculas se unen en forma de bloques, lo que significa que tienen una estructura en la que los monómeros se agrupan en secciones o bloques, en lugar de formar cadenas lineales o ramificadas. Esta estructura en bloques confiere propiedades específicas al polímero y lo hace útil en diversas aplicaciones.

Polímero SBS

El estireno-butadieno-estireno, conocido como SBS, es un elastómero termoplástico artificial creado mediante la polimerización de una combinación de estireno y butadieno. Este material se distingue por ser un tipo de goma dura y se emplea en la manufactura de productos como suelas de calzado, cubiertas de neumáticos y otros artículos donde la resistencia y la durabilidad son fundamentales. El SBS es un copolímero en bloque, lo que significa que su estructura molecular se compone de segmentos específicos de estireno y butadieno organizados en bloques, lo que le otorga sus propiedades únicas. En la Figura 13 se muestra este componente utilizado para la mejora de las características de mezclas asfálticas.

Figura 13

Polímero SBS



Nota. Elaboración propia

Propiedades

Elasticidad y Flexibilidad: El SBS es conocido por su alta elasticidad y capacidad de recuperación después de la deformación. Esta propiedad le permite soportar cargas repetidas y deformaciones sin romperse, lo que lo hace especialmente útil en aplicaciones donde se requiere flexibilidad y resistencia a la fatiga.

Adherencia: El SBS tiene una fuerte capacidad de adherencia a una variedad de superficies, incluido el asfalto. Esto es esencial en la modificación de mezclas asfálticas, ya que mejora la adhesión entre el asfalto y los agregados.

Resistencia a la Temperatura: El SBS mantiene su elasticidad y flexibilidad a una amplia gama de temperaturas, tanto altas como bajas. Esto es particularmente importante en climas fríos, donde muchos otros materiales pueden volverse quebradizos.

Mezclabilidad: El SBS es termoplástico, lo que significa que puede ser procesado y mezclado con otros materiales en condiciones de calor. Esto permite su uso en diversas aplicaciones de mezclas compuestas, incluyendo la modificación de mezclas asfálticas.

Resistencia Química: El SBS es resistente a muchos productos químicos y solventes, lo que lo hace útil en entornos donde la exposición química es un factor.

Impermeabilidad: Debido a su naturaleza elastomérica y a su capacidad de mejorar la adherencia en mezclas asfálticas, el SBS puede ayudar a mejorar la impermeabilidad del

pavimento, lo que es esencial para proteger la estructura de la carretera contra la infiltración de agua.

Durabilidad: La capacidad del SBS de mejorar la cohesión y resistencia de mezclas asfálticas contribuye a una mayor durabilidad del pavimento, lo que se traduce en una vida útil prolongada y menores costos de mantenimiento.

2.4.6. Asfalto modificado con polímeros

Es una mezcla asfáltica que contiene aditivos poliméricos, como el polímero estireno-butadieno-estireno (SBS), para mejorar sus propiedades y rendimiento en aplicaciones de pavimentación. Esta modificación con polímeros se realiza para abordar desafíos específicos en la construcción y mantenimiento de pavimentos, brindando ventajas significativas en términos de durabilidad, resistencia y vida útil.

El asfalto modificado con polímeros se utiliza en una variedad de usos:

Carreteras y autopistas de alto tráfico.

Aeropuertos, especialmente en pistas de aterrizaje y calles de rodaje.

Zonas urbanas con tráfico intenso y condiciones climáticas adversas.

Áreas industriales y comerciales.

La modificación con polímeros requiere un diseño cuidadoso de la mezcla asfáltica y uso de tecnologías de producción adecuadas. Los beneficios a largo plazo en términos de durabilidad y resistencia hacen que el asfalto modificado con polímeros sea una elección valiosa en proyectos de pavimentación que enfrentan desafíos de tráfico intenso y condiciones climáticas difíciles.

2.4.7. Mezclas asfálticas en caliente (MAC)

Las mezclas asfálticas en caliente (MAC) son uno de los tipos más comunes de mezclas utilizadas en la construcción de pavimentos y carreteras. Estas mezclas se elaboran a temperaturas elevadas, generalmente entre 150°C y 190°C, lo que les confiere propiedades y características específicas que las hacen ideales para una variedad de aplicaciones.

Propiedades mecánicas de una MAC

Son características físicas de un material que describen cómo se comporta y responde a las fuerzas y cargas externas. En el contexto de las mezclas asfálticas, las propiedades mecánicas son fundamentales para examinar la durabilidad, resistencia y capacidad de soportar las cargas del tráfico de un pavimento.

Propiedades:

Resistencia a la Tracción: Se refiere a la capacidad del pavimento para soportar fuerzas de tracción o estiramiento. Una buena resistencia a la tracción es importante para prevenir la formación de grietas.

Módulo de Elasticidad: En el contexto de las mezclas asfálticas, un alto módulo de elasticidad indica que el pavimento recupera su forma original después de una deformación elástica bajo carga.

Módulo de Rotura: Mide la deformación permanente o no recuperable que ocurre después de aplicar una carga repetida. Es crucial para evaluar la capacidad del pavimento para resistir deformaciones por fatiga.

Resistencia a la Fatiga: Evalúa la facultad del pavimento para soportar la extensión de grietas bajo cargas repetidas de tráfico. Las mezclas asfálticas con buena resistencia a la fatiga tienen una vida útil más larga.

Deformación Permanente: También conocida como fluencia o deformación plástica, es la deformación que permanece en el pavimento después de aplicar una carga.

Propiedades volumétricas de una MAC

Las propiedades volumétricas son características clave de una mezcla asfáltica que describen la relación entre los volúmenes de los componentes en la mezcla. Estas propiedades son esenciales para asegurar que la mezcla asfáltica tenga la densidad y la compactación adecuadas para garantizar su durabilidad y rendimiento a lo largo del tiempo. Algunas propiedades volumétricas importantes de una mezcla asfáltica:

Densidad: La densidad es la masa por unidad de volumen de la mezcla asfáltica. Una densidad adecuada es esencial para garantizar la durabilidad del pavimento y resistencia a las deformaciones.

Porosidad: Volumen de espacios vacíos en la mezcla asfáltica en comparación con el volumen total. Una alta porosidad puede conducir a la infiltración de agua y la degradación prematura.

Voids in Mineral Aggregate (VMA): Representa el espacio vacío entre las partículas de agregado. Un VMA adecuado es esencial para que el asfalto llene los espacios y proporcionar cohesión.

Voids Filled with Asphalt (VFA): Volumen de espacio en la mezcla asfáltica que está lleno de asfalto. Un VFA insuficiente puede resultar en un agotamiento prematuro del asfalto y una menor vida útil del pavimento.

Relación de Vacíos Total (Total Voids Ratio): Es la relación de los vacíos en la mezcla asfáltica al volumen total de la mezcla. Una relación de vacíos total más baja suele indicar una mezcla más densa y resistente.

Relación Aire-Volumen de Asfalto (Air Void Content): Es el porcentaje de volumen de aire en la mezcla asfáltica en comparación con el volumen total de la mezcla. Un alto contenido de aire puede afectar negativamente la durabilidad del pavimento.

Deterioro en la mezcla asfáltica

Como cualquier material de construcción, la mezcla asfáltica puede sufrir deterioro con el tiempo debido a varios factores, incluidos las condiciones climáticas, el tráfico y la calidad de la mezcla. Algunos de los tipos comunes de deterioro que afectan a la mezcla asfáltica incluyen:

Agrietamiento: Este es uno de los tipos más comunes de deterioro. Puede ocurrir en forma de grietas longitudinales, transversales, en bloque o en forma de red. Las grietas pueden deberse a la fatiga del pavimento debido al tráfico repetido, contracción térmica y expansiones, y envejecimiento del asfalto.

Desgaste: El desgaste superficial se debe al tráfico constante de vehículos, lo que provoca la eliminación gradual de la capa superficial de la mezcla asfáltica. Esto puede resultar en una superficie rugosa y textura áspera.

Agujeros y Baches: Los agujeros son depresiones en la superficie del pavimento, mientras que los baches son áreas más grandes de deterioro donde la capa de asfalto se ha desprendido. Estos pueden ser causados por una combinación de factores, incluido el tráfico pesado, la presencia de agua y el deterioro del material.

Deformación Plástica: También conocido como fluencia, es la deformación permanente del pavimento bajo cargas repetidas. Esto puede resultar en huellas profundas en la superficie.

Deterioro Ambiental: Exposición a elementos como agua, luz solar, hielo y productos químicos puede provocar un deterioro más rápido.

Fatiga del Pavimento: Es la acumulación de daño en el pavimento debido a cargas repetidas, lo que puede llevar a grietas y deformaciones.

Diseño de mezclas asfálticas en caliente

Este implica la selección de los materiales adecuados y la determinación de las proporciones óptimas de agregados y asfalto para crear una mezcla que cumpla con los requisitos de durabilidad, resistencia y rendimiento en un pavimento

Procedimiento en el diseño:

Recopilación de Datos: Comienza por recopilar información relevante, como el tráfico esperado, el clima, las condiciones del suelo y los requisitos del proyecto. Estos datos ayudarán a determinar las características específicas que debe tener la mezcla.

Selección de Agregados: Elige los tipos de agregados que se utilizarán en la mezcla, como grava, arena y filler. La selección se basará en la disponibilidad local y en las propiedades técnicas requeridas.

Análisis de Gradación: Evalúa la dispersión de tamaños de partículas en los agregados para determinar la gradación óptima. Una buena gradación es esencial para lograr una mezcla densa y resistente.

Determinación de Proporciones: Calcula las proporciones relativas de los agregados y el asfalto en la mezcla. Esto se hace mediante métodos de diseño específicos, como el Método Marshall o el Método Superpave.

Selección del Asfalto: Elige el tipo y grado de asfalto (betún) adecuado para la mezcla en función de las condiciones climáticas y de tráfico.

Mezclado en Laboratorio: Realiza pruebas de laboratorio para verificar y evaluar las propiedades de la mezcla, como la compactación y cohesión.

Ensayos Marshall: Si se utiliza el Método Marshall, se realizan ensayos de compactación Marshall para determinar la densidad máxima y la estabilidad de la mezcla.

Validación en Campo: Realiza pruebas en el campo utilizando la mezcla diseñada para evaluar su rendimiento real y realizar ajustes si es necesario.

Implementación: Una vez que se ha finalizado el diseño y se ha validado en campo, la mezcla diseñada se puede implementar en el pavimento según las especificaciones del proyecto.

2.4.8. Diseño de mezclas asfálticas: Método Marshall

El Método Marshall es un enfoque clásico para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, desarrollado por Bruce Marshall en la década de 1930. Este método implica la compactación de muestras de mezcla asfáltica a diferentes niveles de energía y la evaluación de sus propiedades para hallar la mezcla óptima para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad. En la Figura 14 se aprecia el equipo para la ejecución del ensayo, de estar poder obtener los valores de estabilidad y fluencia.

Figura 14

Ensayo de Marshall



Nota. Elaboración propia

Parámetros de diseño Marshall

Implica la determinación de varios parámetros clave que ayudan a crear una mezcla asfáltica en caliente con las propiedades de resistencia y durabilidad adecuadas. A continuación, se presentan algunos de los parámetros más importantes en el diseño de mezcla por el Método Marshall:

Estabilidad Marshall (Stability): Es la carga máxima que puede soportar una muestra de mezcla asfáltica antes de que ocurra la falla. La estabilidad se mide en kilogramos o libras. La mezcla debe tener una estabilidad suficiente para resistir las cargas del tráfico y evitar deformaciones excesivas.

Flujo (Flow): Es la deformación vertical en centímetros o pulgadas que experimenta una muestra de mezcla durante el ensayo Marshall. Representa la capacidad de la mezcla para deformarse bajo carga. Un flujo adecuado garantiza que la mezcla pueda acomodar las deformaciones sin agrietarse.

Relación Estabilidad-Flujo (Stability-to-Flow Ratio): También conocida como relación Hveem, es la relación entre la estabilidad y el flujo. Ayuda a evaluar la cohesión y la resistencia de la mezcla. Se busca un equilibrio entre estabilidad y flujo.

Relación Asfalto-Agregado (Asphalt Binder Content): Es el porcentaje de asfalto en la mezcla en relación con el peso total de agregados.

Densidad Máxima Teórica (Theoretical Maximum Density, TMD): Es la densidad que la mezcla asfáltica alcanzaría si estuviera completamente libre de vacíos. Se compara con la densidad real de la mezcla para evaluar la compactación.

Densidad de la Mezcla Compactada (Compacted Mix Density): Es la densidad real de la mezcla después de la compactación en el ensayo Marshall. Debe ser lo más cercana posible a la TMD para lograr una buena compactación.

Relación de Vacíos Total (Total Voids Ratio): Es la relación entre los vacíos en la mezcla y el volumen total de la mezcla. Una relación de vacíos más baja indica una mezcla más densa y resistente.

Desplazamiento de Agregado (Aggregate Displacement): Mide la cantidad de movimiento de los agregados dentro de la mezcla durante el ensayo Marshall.

Estabilidad Marshall Residual (Residual Marshall Stability): Mide la estabilidad de la mezcla después de ser sometida a ciclos de enfriamiento y calentamiento. Evalúa la resistencia a los cambios de temperatura.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

Estableciendo la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas, mediante pruebas de desempeño, se podrá obviar su uso en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con polímeros, año 2023.

3.2. Hipótesis Específica

a) Mediante pruebas de desempeño se demostrará que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales.

b) Mediante pruebas de desempeño se demostrará que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas modificadas.

3.3. Variables

3.3.1. Variable Independiente

Rango de la Relación Estabilidad-Flujo

Parámetro de diseño establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, cuyo rango fluctúa entre los valores de 1,700-4,000 kg/cm

3.3.2. Variable Dependiente

Ensayos a mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros

Los ensayos de desempeño (Rueda Cargada, Módulo Resiliente) y el ensayo de Lottman en mezclas asfálticas son pruebas de laboratorio y campo diseñadas para evaluar y garantizar la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de carreteras y pavimentos, siendo fundamentales para asegurar que las mezclas asfálticas cumplan con los estándares de calidad y rendimiento necesarios.

En la Tabla 1 se detalla la operacionalización de cada una de las variables dependientes e independientes.

Tabla 1

Matriz de Operacionalización

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE						
Rango de la Relación Estabilidad-Flujo	Parámetro de diseño establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, cuyo rango fluctúa entre los valores de 1700-4000 kg/cm	La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir desplazamientos y deformaciones, depende de la fricción y la cohesión interna de los agregados.	Parámetros de diseño de una mezcla asfáltica	Estabilidad	kg	Diseño de Mezclas Asfálticas Método Marshall
		El flujo es la deformación máxima de la mezcla asfáltica antes de fallar.		Flujo	cm	
VARIABLE DEPENDIENTE						
Ensayos a mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros	Los ensayos de desempeño (Rueda Cargada, Módulo Resiliente) y el ensayo de Lottman en mezclas asfálticas son pruebas de laboratorio y campo diseñadas para evaluar y garantizar la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de carreteras y pavimentos, siendo fundamentales para asegurar que las mezclas asfálticas cumplan con los estándares de calidad y rendimiento necesarios.	Pruebas fundamentales para asegurar que las mezclas cumplan con los estándares de calidad y rendimiento necesarios.	Ensayos Desempeño	Deformación permanente	mm	Rueda de Hamburgo
				Resistencia a la Tracción Indirecta	%	Módulo Resiliente
				Resistencia a la deformación permanente inducida por humedad	%	Ensayo de Lottman

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y método nivel de investigación

4.1.1. Método

Método: El método es deductivo, porque se va a validar la relevancia de la relación Estabilidad-Flujo

Orientación: Es aplicada, porque se basa en los conceptos de las variables dependientes e independientes

Enfoque: Es cuantitativo porque medirá el rango de la relación Estabilidad-Flujo

Recolección de Datos: Es prolectiva porque se va a determinar los valores de la relación Estabilidad-Flujo, que también se relaciona con valores según la normativa.

4.1.2. Tipo

Es descriptivo.

4.1.3. Nivel

Es un enfoque que combina elementos descriptivos y explicativa.

4.1.4. Diseño:

La presente investigación es experimental pues sus variables han sido manipuladas y los resultados están en función de estas dos variables, es longitudinal y prospectiva.

4.2. Población de estudio

Mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros SBS, a las cuales se realizaron estudios para saber cuál fue tuvo un desempeño más eficiente mediante los ensayos de la Rueda Cargada de Hamburgo y el Módulo Resiliente

4.3. Diseño muestral

Número de briquetas en laboratorio y extraídas de campo de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros SBS.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La presente investigación se sustenta en los ensayos de desempeño de la Rueda Cargada de Hamburgo y el Módulo Resiliente, y los ensayos de laboratorio Lottman los cuales nos arrojaron valores de deformación plástica y de susceptibilidad a la humedad. Los ensayos en laboratorio se efectuaron conforme a las normativas ASTM, AASHTO, MTC.

Además, se consultó material procedente de fuentes bibliográficas como tesis, libros, artículos de investigación y otros.

4.5.Análisis de datos

Esta investigación se sustenta en técnicas de recopilación y procesamiento de información; empleando equipos de laboratorio para ensayos de desempeño que nos permiten obtener determinados resultados; esta información registrada en tablas y gráficas será posteriormente contrastada con los valores que se indican en la Norma EG-2013 para validar el cumplimiento de las hipótesis planteadas en esta investigación.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Recolección de Datos

5.1.1. Agregados Pétreos

Son agregados extraídos de la naturaleza, es decir, los agregados gruesos, finos y el filler extraídos de una cantera propiedad de la empresa CAH Ingenieros, se sometieron a una serie de evaluaciones destinadas a analizar sus características físicas.

Para los casos de los agregados gruesos, se utilizaron tamices con aberturas cuadradas de diferentes dimensiones: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ " y N°4 para llevar a cabo la clasificación.

En cuanto a los agregados finos, se determinó la cantidad que pasaba a través del tamiz n° 200 (75 μ m) como parte del proceso de análisis.

Por último, para el filler, se seleccionó el material utilizando un tamiz de tamaño n°4.

5.1.2. Cementos Asfálticos

Se utilizó el producto PEN 60/70 para ambas mezclas asfálticas y adicionalmente, se incorporó un polímero SBS Tipo IC para la mezcla asfáltica modificada.

5.1.3. Polímero SBS

Se utilizó el polímero SBS (estireno-butadieno-estireno) Tipo IC.

5.2. Procesamiento de Datos y Resultados

5.2.1. Requerimientos de Agregados Gruesos

Para los fines que persigue la presente investigación, se llevaron a cabo las siguientes pruebas de laboratorio:

Adherencia: Para llevar a cabo el ensayo de adherencia, se siguió el procedimiento descrito en el MTC E 517, el cual se basa en la normativa AASHTO T-182: "Recubrimiento y Ensayo de Película de Asfalto en Mezclas Bituminosas con Áridos". Se tomó una muestra retenida en la malla $\frac{1}{4}$ y se sometió a diversos tratamientos para evaluar la retención de la capa de asfalto en la superficie del agregado grueso en presencia de agua. Los resultados de este ensayo mostraron un valor de +95, cumpliendo así con los requisitos establecidos en el EG-2013. Estos resultados se detallan en la Figura 15 y Figura 16.

Figura 15

Agregado de 3/4"

REFERENCIAS DE LA MUESTRA
Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Nota. Extraído del anexo N°12

Figura 16

Agregado de 1/2"

REFERENCIAS DE LA MUESTRA
Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Nota. Extraído del anexo N°4.

Índice de Durabilidad: Este ensayo se llevó a cabo, según el protocolo establecido en el MTC E 214, el cual se basa en el estándar ASTM D 3744: Método de Ensayo Estándar para el Índice de Durabilidad de Agregados. Se analizó la resistencia relativa de los agregados gruesos de 1/2" y 3/4" a la generación de finos no deseados, como arcillas, cuando se someten a procesos de desgaste mecánico. Los resultados de este ensayo arrojaron un índice de durabilidad del 63% y 64% respectivamente. Estos resultados se detallan en la Figura 17 y Figura 18.

Figura 17

Agregado grueso 3/4"

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio		Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	9000.0	9000.0	9000.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg	6.2	6.4	6.2	
Altura de Arena	pulg	4.0	4.1	3.9	
Índice de Durabilidad (Dc)	%	64.5	64.0	63.5	64
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21.0	

Nota. Extraído del anexo N°13.

Figura 18

Agregado grueso 1/2"

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio		Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	9000.0	9000.0	9000.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg	6.2	6.3	6.1	
Altura de Arena	pulg	3.9	4.0	3.8	
Índice de Durabilidad (Dc)	%	62.9	63.5	62.3	63
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21.0	

Nota. Extraído del anexo N°5.

Partículas planas y alargadas. Para llevar a cabo este ensayo, se aplicó como referencia, la normativa ASTM D 4791-99 para lo cual, se trabajó la muestra de agregado grueso siguiendo el protocolo establecido en el MTC E 201. El propósito de esta prueba consiste en calcular la proporción de partículas de forma plana y alargada en el agregado grueso. El proceso experimental de este ensayo se muestra en la Figura 19 y Figura 21, mientras que los resultados se detallan la Figura 20 y Figura 22.

Figura 19

Ensayo de partículas planas y alargadas



Nota. Elaboración propia

Figura 20

Agregado 3/4"

REFERENCIAS DE LA MUESTRA
 Identificación : Cant. Intrein
 Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Tamaño de Agregado		A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E (C+D)
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2012.3	0.0	0.0	49.2	0.0
1/2"	3/8"	1014.0	0.0	0.0	42.6	0.0
Total					91.8	0.0
Partículas Planas y Alargadas					0.0	(%)

Nota. Extraído del anexo N° 9.

Figura 21

Partículas planas y alargadas



Nota. Elaboración Propia.

Figura 22

Agregado de 1/2"

REFERENCIAS DE LA MUESTRA
 Identificación : Cant. Intrein
 Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Tamaño de Agregado		A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E (C+D)
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	1023.5	0.0	0.0	9.8	0.0
Total					9.8	0.0
Partículas Planas y Alargadas					0.0	(%)

Nota. Extraído del anexo N°1.

Caras fracturadas: Para llevar a cabo el ensayo, se prosiguieron los protocolos detallados en el MTC E 210, el cual se basa en la normativa ASTM D 5821: Método de Ensayo Estándar para Determinar el Porcentaje de Partículas Fracturadas en Agregados Gruesos. Asimismo, se efectuó el muestreo de agregado grueso de acuerdo con el MTC E 201, que se fundamenta en la práctica estándar de muestreo de agregados según el ASTM D75. Según la norma EG-2013, la notación "85/50" señala que el 85% del agregado grueso debe contener al menos una cara fracturada, mientras que un 50% de las partículas deben presentar dos caras fracturadas. Los resultados se detallan en la Figura 23 y Figura 24 para los agregados de 3/4", y en la Figura 25 y Figura 26 para los agregados de 1/2".

Figura 23

Una cara fracturada agregado de 3/4"

Tamaño de Agregado		A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E (C*D)
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2012.3	0.0	0.0	49.2	0.0
1/2"	3/8"	1014.0	0.0	0.0	42.6	0.0
Total					91.8	0.0
% Con una cara fracturada					0.0	(%)

Nota. Extraído del anexo N°14.

Figura 24

Dos o más caras fracturadas agregado de 3/4"

Tamaño de Agregado		A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E (C*D)
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2012.3	0.0	0.0	49.2	0.0
1/2"	3/8"	1014.0	0.0	0.0	42.6	0.0
Total					91.8	0.0
% Con 2 o mas caras fracturadas					0.0	(%)

Nota. Extraído del anexo N°14.

Figura 25

Con una cara fracturada agregado de 1/2"

Tamaño de Agregado		A (g)	B (g)	C ((B/A)*100)	D (%)	E (C*D)
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	1023.5	0.0	0.0	9.8	0.0
Total					9.8	0.0
% Con una cara fracturada					0.0	(%)

Nota. Extraído del anexo N°6.

Figura 26

Dos o más caras fracturadas agregado de 1/2"

Tamaño de Agregado		A (g)	B (g)	C (B/A)*100	D (%)	E (C*D)
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	1023.5	0.0	0.0	9.8	0.0
Total					9.8	0.0
% Con 2 o mas caras fracturadas					0.0	(%)

Nota. Extraído del anexo N°6.

Sales Solubles totales. Este ensayo se llevó a cabo, según los procedimientos establecidos en el MTC E 219, cuya referencia normativa es el Manual de Carreteras Vol. N.º 8 – 8.202.14: "Agregados Pétreos: Método para determinar sales solubles (LNV 8)" de Chile. El propósito de este ensayo es determinar el contenido de sulfatos solubles en las muestras de agregados. Los resultados obtenidos fueron del 0.01706% para los agregados de 3/4" y del 0.01836% para los agregados de 1/2". Los resultados se detallan en la Figura 27 y Figura 28.

Figura 27

Piedra Chancada 3/4"

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz N°10	170.6	0.01706

Nota. Extraído del anexo N°11.

Figura 28

Piedra Chancada 1/2"

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz N°10	183.6	0.01836

Nota. Extraído del anexo N°3.

Absorción. Este ensayo se llevó a cabo según los procedimientos establecidos en el MTC E 206. Para ello, se determinaron los tres tipos de peso específico (peso específico aparente, peso específico saturado superficial y peso específico seco) sumados al porcentaje de absorción de la muestra. Los resultados obtenidos fueron 0.70% para los agregados de 3/4" y 1.00% para los agregados de 1/2", resultados que cumplieron lo requerido en la norma. Los resultados se detallan en la Figura 29 y Figura 30.

Figura 29

Ensayo de absorción

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cant. Intrein
MUESTRA : Piedra Chancada 1/2"

A	Peso de muestra Sat. Sumergido	2010.3	2013.8	
B	Peso de la muestra Sat. Sup. Seca	3190.3	3192.3	
C	Peso de la muestra Seca	3157.6	3160.3	Promedio
	Peso específico Sat. Suo. Seca (B/B-A)	2.704	2.709	2.706
	Peso específico de masa (C/B-A)	2.676	2.682	2.679
	Peso específico aparente (C/C-A)	2.752	2.756	2.754
	Absorción de agua ((B-C)/C)*100	1.0	1.0	1.0

Nota. Extraído del anexo N°2

Figura 30

Ensayo de absorción piedra chancada de 3/4"

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cant. Intrein
MUESTRA : Piedra Chancada 3/4"

A	Peso de muestra Sat. Sumergido	2010.3	2014.5	
B	Peso de la muestra Sat. Sup. Seca	3172.2	3175.9	
C	Peso de la muestra Seca	3151.9	3155.2	Promedio
	Peso específico Sat. Suo. Seca (B/B-A)	2.730	2.735	2.732
	Peso específico de masa (C/B-A)	2.713	2.717	2.715
	Peso específico aparente (C/C-A)	2.761	2.766	2.763
	Absorción de agua ((B-C)/C)*100	0.6	0.7	0.7

Nota. Extraído del anexo N°10.

Durabilidad al sulfato de magnesio: Este ensayo se llevó a cabo, siguiendo los procedimientos descritos en el MTC E 209, que tiene como objetivo determinar, en porcentaje, la resistencia del material a través del uso de soluciones saturadas de sulfato de magnesio. Los resultados obtenidos fueron 5.06% para los agregados de 3/4" y 5.85% para los agregados de 1/2", los cuales cumplen con lo requerido en la norma. Los resultados se detallan en la Figura 31 y Figura 32.

Figura 31

Piedra Chancada 3/4''

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4''

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio		Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	9000.0	9000.0	9000.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg	6.2	6.4	6.2	
Altura de Arena	pulg	4.0	4.1	3.9	
Índice de Durabilidad (Dc)	%	64.5	64.0	63.5	64
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21.0	

Nota. Extraído del anexo N°13.

Figura 32

Piedra Chancada 1/2''

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2''

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio		Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	9000.0	9000.0	9000.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg	6.2	6.3	6.1	
Altura de Arena	pulg	3.9	4.0	3.8	
Índice de Durabilidad (Dc)	%	62.9	63.5	62.3	63
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21.0	

Nota. Extraído del anexo N°5.

Abrasión los Ángeles: El objetivo de este ensayo era evaluar la capacidad del agregado grueso para resistir la degradación causada por la abrasi3n, de acuerdo con las directrices del manual EG-2013. Los resultados demostraron que el porcentaje de desgaste fue del 14.1% para los agregados de 3/4" y del 22.0% para los agregados de 1/2", cumpliendo así con los estándares establecidos en la normativa vigente. En la Figura 33 se aprecia el desarrollo experimental de este ensayo, mientras que en la Figura 34 y Figura 35, se detallan los resultados.

Figura 33

Ensayo Abrasión Los Ángeles



Nota. Elaboración propia.

Figura 34

Piedra Chancada 3/4"

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Tamiz	Peso Retenido (g)
3"	
2 1/2"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	2500
3/8"	2500
1/4"	
Platillo	

Porcentaje de Desgaste

Tipo de graduación	B
Peso muestra al comenzar el ensayo (g)	5000
Peso material retenido en el tamiz N°12 (g)	4443
Peso material que pasa el tamiz N°12 (g)	703
Porcentaje de desgaste (%)	14.1

Nota. Extraído del anexo N°15.

Figura 35

Piedra Chancada 1/2''

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2''

Tamiz	Peso Retenido (g)
3"	
2 1/2"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	
1/4"	2500
Nº4	2500
Platillo	

Porcentaje de Desgaste

Tipo de graduación	C
Peso muestra al comenzar el ensayo (g)	5000
Peso material retenido en el tamiz Nº12 (g)	3899
Peso material que pasa el tamiz Nº12 (g)	1101
Porcentaje de desgaste (%)	22.0

Nota. Extraído del anexo N°7.

5.2.2 *Requisitos para los agregados finos*

Para los fines que persigue la presente investigación, se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio con agregado fino, tal y como se aprecia en la Figura 36.

Figura 36

Muestra de agregado fino



Nota. Elaboración propia.

Equivalente de arena y agregado fino: El propósito principal de este método es determinar, en condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos con características arcillosas o finos plásticos, así como la presencia de polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan a través del tamiz N°4. Los resultados de este ensayo arrojaron un promedio de equivalencia de arena del

71%, lo que cumple con los requisitos establecidos en el EG-2013. Los resultados se detallan en la Figura 37.

Figura 37

Equivalente de arena.

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
 Muestra : Arena Chancada

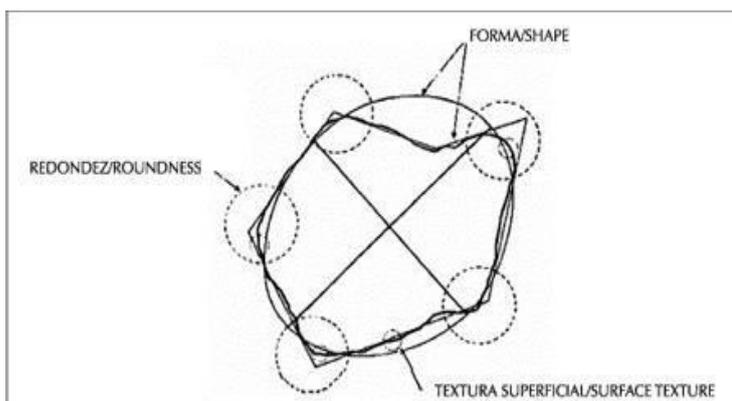
Equivalente de Arena		
Lectura Inicial	5.3	5.4
Lectura Final	3.7	3.9
% de Finos	70	72
Promedio %	71	

Nota. Extraído del anexo N°17.

Angularidad del agregado fino: El propósito de esta prueba es calcular los espacios de aire para determinar la angularidad de los agregados finos, un parámetro relacionado con la resistencia al ahuellamiento en materiales asfálticos, la angularidad de este agregado se ilustra en la Figura 38. Los resultados de este ensayo arrojaron un valor para la angularidad del 42.4%, estos se detallan en la Figura 39.

Figura 38

Angularidad del agregado fino



Nota. Barret, 1980.

Figura 39

Angularidad del agregado fino.

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Análisis de:	Angularidad %
Tipo de Muestra Arena Gruesa	42.4

Nota. Extraído del anexo N°18.

Azul de metileno: Este ensayo se llevó a cabo, siguiendo el protocolo establecido en el AASHTO TP 57. El propósito fundamental de este ensayo es identificar la presencia de arcillas perjudiciales del grupo de las esmécticas y brindar una evaluación de la actividad superficial del agregado. Los resultados de este ensayo arrojaron un valor promedio de azul de metileno de 7 (mg/g), lo que se ajusta a los requisitos establecidos en el EG-2013. Los resultados se detallan en la Figura 40.

Figura 40

Azul de metileno.

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

N	Ensayo	Resultado
1	Valor de azul de metileno (mg/g)	7
2	Valor de azul de metileno (mg/g)	6
Valor de azul de metileno Promedio		7

Nota. Extraído del anexo N°19.

Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad: Este ensayo se llevó a cabo, siguiendo las pautas establecidas en el MTC E 111, que toma como referencia la normativa NTP 339.129. El objetivo principal de este ensayo es determinar, el límite plástico de un suelo y calcular el índice de plasticidad (I.P.) cuando se conoce el límite líquido (L.L.) de dicho suelo. Los resultados de este ensayo cumplieron con los requisitos establecidos en el EG-2013. Los resultados se detallan en la Figura 41.

Figura 41

Índice de plasticidad

Constantes Fisicas de la Muestra	
Limite Liquido	NL
Limite Plastico	N.P
Indice de Plasticidad	N.P

Nota. Extraído del anexo N°20.

Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio: Se realizó siguiendo los procedimientos del MTC E 209 y la normativa NTP 400.016. El propósito es evaluar el grado de resistencia a la desintegración de los agregados finos cuando son expuestos a soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Los resultados se detallan en la Figura 42.

Figura 42

Durabilidad al sulfato de magnesio

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones despues del Ensayo	Perdida en peso despues del Ensayo	% Perdida despues del Ensayo	% Perdidas Corregidas
Pasa	Retene						
1/2"	3/8"						
3/8"	Nº4	2.7	100	92.8	7.2	6.1	0.19
Nº4	Nº8	27.1	100	91.9	8.1	6.8	2.20
Nº8	Nº16	22.0	100	92.1	7.9	6.7	1.74
Nº16	Nº30	14.0	100	90.6	9.4	7.9	1.32
Nº30	Nº50	10.3	100	92.4	7.6	6.4	0.78
Nº50	Nº100	8.2	100	91.5	8.5	7.2	0.70
Nº100	Fondo						
Totales		84.3					6.23

Nota. Extraído del anexo N°21.

Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado: Se llevó a cabo, siguiendo los procedimientos descritos en el MTC E 214, que toma como referencia la normativa ASTM D 3744: Método de Ensayo Estándar para el Índice de Durabilidad de Agregados. El objetivo principal de esta prueba es calcular un valor representativo de la resistencia relativa del agregado a la generación de partículas finas perjudiciales, como la arcilla, cuando se somete a procesos de degradación mecánica. Los resultados de este ensayo mostraron un índice de durabilidad del 52%, lo cual cumple con los requisitos establecidos en el EG-2013. Los resultados se detallan en la Figura 43.

Figura 43

Índice de durabilidad del agregado

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio		Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	85.0	85.0	85.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pu"lg	6.7	7.0	6.9	
Altura de Arena	pu"lg	3.4	3.6	3.8	
Índice de Durabilidad (Dr)	%	50.7	51.4	55.1	52
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21	

Nota. Extraído del anexo N°22.

Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles: Este ensayo se llevó a cabo este ensayo, siguiendo los procedimientos indicados en el MTC E 219, que se basa en la normativa del Manual de Carreteras Vol. N.º 8 – 8.202.14 de Chile, relacionado con Agregados Pétreos y el Método para determinar sales solubles (LNV 8). El propósito principal de este ensayo es determinar el contenido de sulfatos solubles en la muestra. Los resultados de este ensayo arrojaron un valor de 0.03288%, lo cual cumple con los requisitos especificados en el EG-2013. Los resultados se detallan en la Figura 44.

Figura 44

Sales solubles en agregado.

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz N°10	328.8	0.03288

Nota. Extraído del anexo N°23.

Gravedad específica y absorción de agregados finos. Este ensayo se llevó a cabo siguiendo las directrices proporcionadas en el MTC E 205, tomando como referencia la normativa NTP 400.022. El objetivo primordial de esta evaluación es determinar el peso específico en seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino después de un periodo de inmersión en agua

de 24 horas. Los resultados de este estudio reflejaron una tasa de absorción del 0.5%.

Los resultados se detallan en la Figura 45.

Figura 45

Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos.

REFERENCIAS DE LA MUESTRA				
Identificación	:	Cont. Intrein		
Muestra	:	Arena Chancada		

A	Peso Agregado en condición S.S.S.	500.0	500.0	
B	Peso del picnómetro + Agua en la marca de calibración.	680.1	682.3	
C	Peso del agua en la marca de calibración + Peso del picnómetro + Agregado S.S.S.	995.2	996.8	
D	Volumen del agregado (B + A - C)	184.9	185.5	
E	Peso del Agregado Seco	497.3	497.8	Promedio
F	Peso Especifico de Masa Seca (E / D)	2.690	2.684	2.687
G	Peso Especifico de Masa S. S. S. (A / D)	2.704	2.695	2.700
H	Peso Especifico de Masa Aparente E / (B + E - C)	2.729	2.716	2.723
I	Absorción $((A - E) / E) * 100$	0.5	0.4	0.5

Nota. Extraído de los resultados del anexo N°24.

Adherencia al agregado fino: Este ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en el MTC E 220, el cual se basa en la normativa NLT - 355: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Procedimiento Riedel Weber). Este ensayo consiste en calcular la adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, arenas naturales o chancadas, que se emplean usualmente en la construcción de carreteras. Los resultados se detallan en la Figura 46.

Figura 46

Ensayo de adherencia al agregado fino.

REFERENCIAS DE LA MUESTRA
 Identificación : Cont. Intrein
 Muestra : Arena Chancada

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E220	8

Nota. Extraído de los resultados del anexo N° 25

5.2.3 Diseño de Mezclas

Caracterización de agregado para mezcla asfáltica convencional 1. En la Tabla 2 se detalla el análisis granulométrico de la piedra chancada de 3/4". Así como la curva granulométrica ilustrada en la Figura 47.

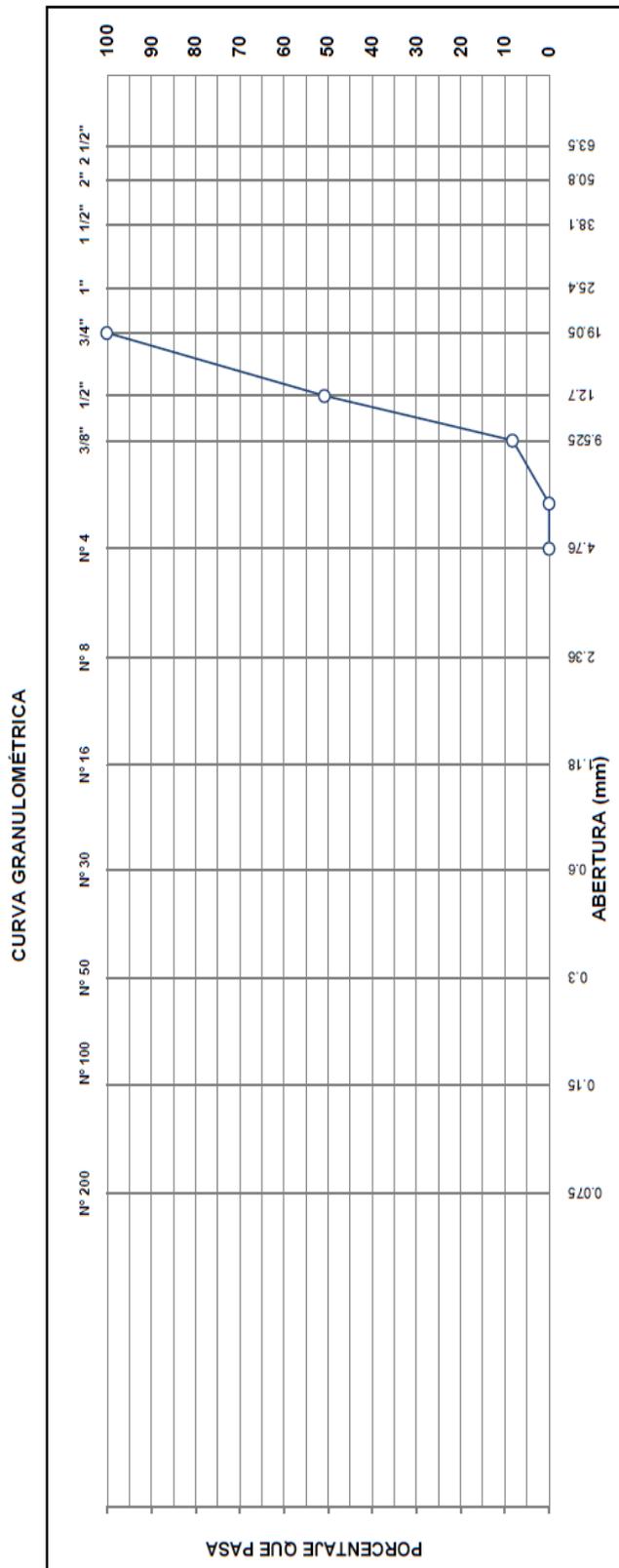
Tabla 2*Análisis granulométrico de piedra chancada 3/4''*

Serie americana	Abertura (mm)	Mallas			
		Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				100.000
1/2"	12.700	2417.000	49.200	49.200	50.800
3/8"	9.525	2092.400	42.600	91.800	8.200
1/4"	6.350	403.500	8.200	100.000	0.000
N°4	4.760				
N°8	2.380				
N°10	2.000				
N°16	1.190				
N°20	0.840				
N°30	0.390				
N°40	0.426				
N°50	0.297				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.074				
<	(ASTM C-117)				

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 47

Curva granulométrica agregado 3/4



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Tabla 3 se detalla el análisis granulométrico de la piedra chancada de 1/2". Así como la curva granulométrica ilustrada en la Figura 48.

Tabla 3

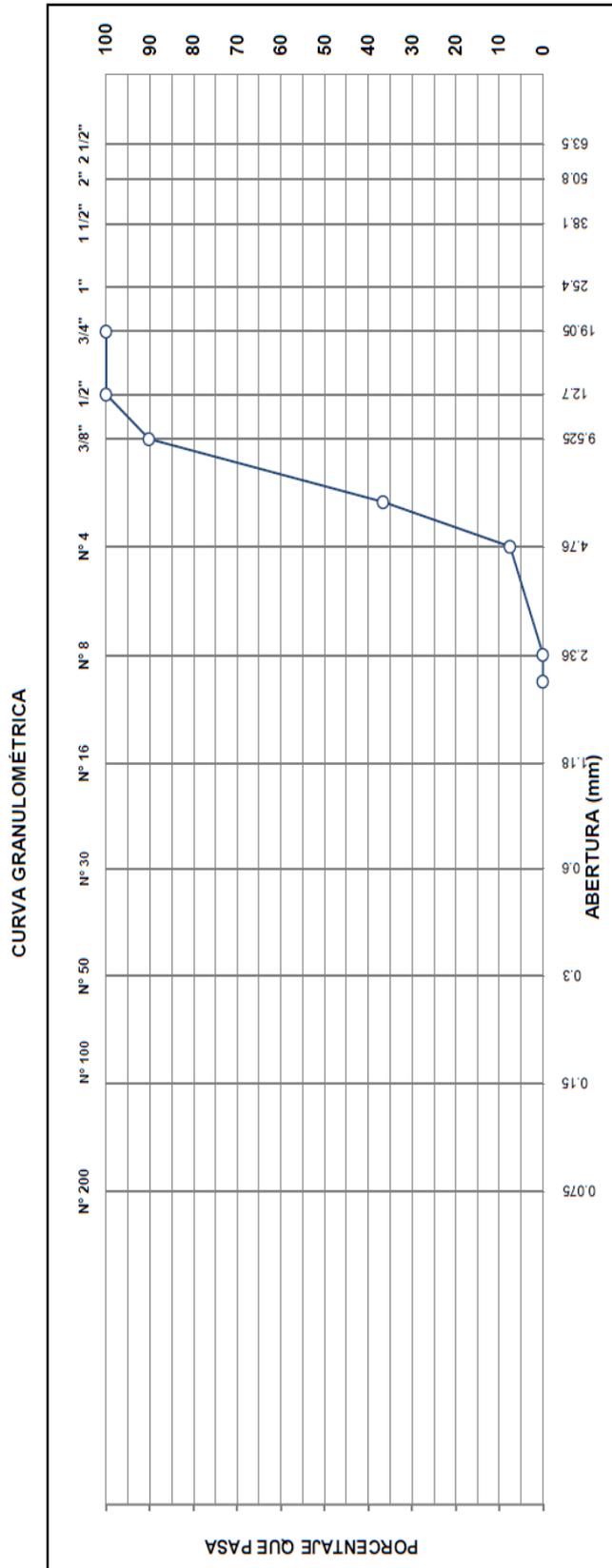
Análisis granulométrico de piedra chancada 1/2"

Mallas					
Serie americana	Abertura (mm)	Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				100.000
3/8"	9.525	361.700	9.800	9.800	90.200
1/4"	6.350	1970.900	53.600	63.400	36.600
N°4	4.760	1069.800	29.100	92.500	7.500
N°8	2.380	276.300	7.500	100.000	0.000
N°10	2.000				
N°16	1.190				
N°20	0.840				
N°30	0.390				
N°40	0.426				
N°50	0.297				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.074				
<	(ASTM C- 117)				

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 48

Curva granulométrica agregado 1/2



En la Tabla 4 se detalla el análisis granulométrico de la arena chancada. Así como la curva granulométrica ilustrada en la Figura 49.

Tabla 4

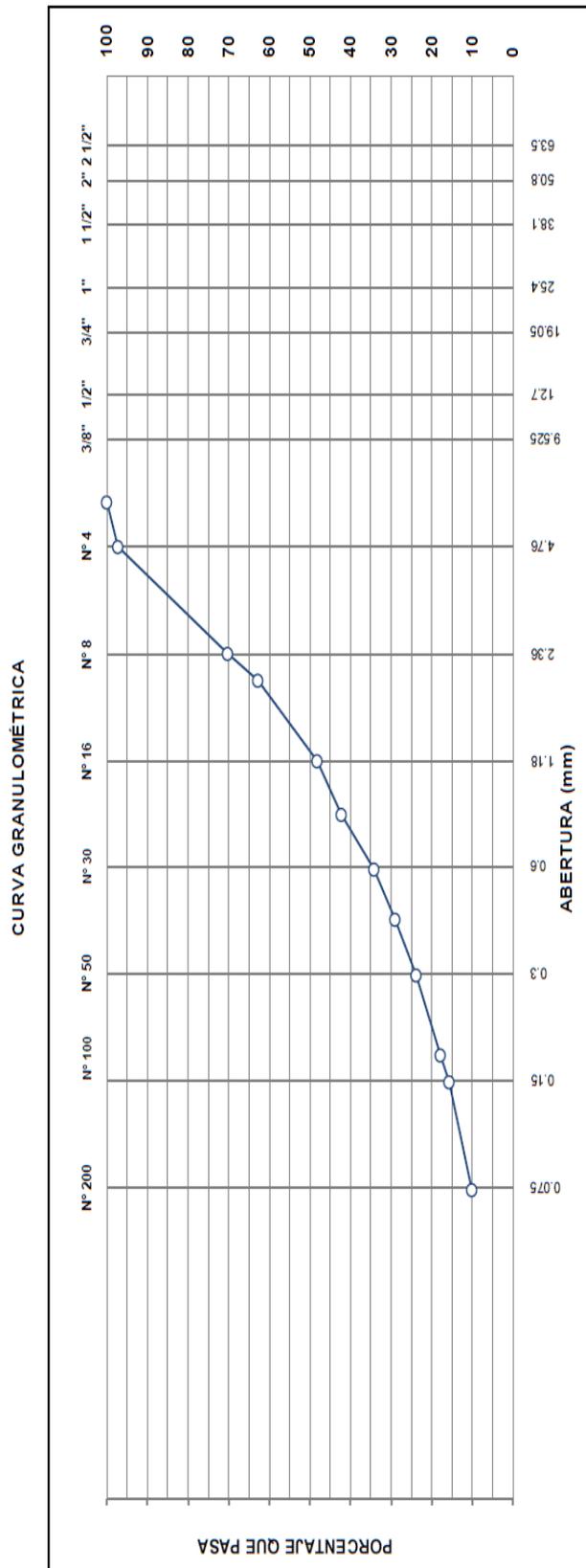
Análisis granulométrico de arena chancada

Serie americana	Abertura (mm)	Mallas			
		Peso retenido (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N°4	4.760	38.500	2.700	2.700	97.300
N°8	2.380	390.100	27.100	29.800	70.200
N°10	2.000	105.800	7.400	37.100	62.900
N°16	1.190	210.900	14.700	51.800	48.200
N°20	0.840	85.300	5.900	57.700	42.300
N°30	0.390	116.400	8.100	65.800	34.200
N°40	0.426	74.000	5.100	71.000	29.100
N°50	0.297	74.700	5.200	76.100	23.900
N°80	0.177	86.300	6.000	82.100	17.900
N°100	0.149	31.800	2.200	84.400	15.700
N°200	0.074	80.000	5.600	89.900	10.100
<	(ASTM C- 117)	145.300	10.100	100.00 0	0.000

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 49

Curva granulométrica arena chancada



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Combinación teórica del agregado grueso y fino

Para el diseño de mezcla asfáltica según norma ASTM D3515 D5, debemos regirnos por la Figura 50 donde se muestra el detalle de gradación.

Figura 50

Tabla de gradación según norma ASTM D3515 D5

Abertura de malla	Mezclas cerradas / Mezcla densa								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2" (50 mm)	1 ½" (37,5 mm)	1" (25,0 mm)	¾" (19D mm)	½" (12,5 mm)	3/8" (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 1/2" (63 mm)	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½" (37,5mm)	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-
1" (25,0 mm)	60 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-
¾" (19 Dmm)	-	56 - 80	-	-	100 - 100	-	-	-	-
½" (12,5mm)	35 - 65	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-
3/8" (9,5 mm)	-	-	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-
No. 4 (4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 53	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	-	100 - 100
No. 8 (2,36mm)	13 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	-	95 - 100
No. 16 (1,18mm)	-	-	-	-	-	-	40 - 80	-	85 - 100
No. 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	35 - 65	-	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	-	45 - 75
No. 100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3 - 20	-	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	-	9 - 20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 9	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Nota. ASTM.

Después de realizar las pruebas teóricas de mezcla entre agregado grueso y fino conforme a las pautas de ASTM D3515 D5, se calculó que la proporción de agregado grueso de 3/4 de pulgada es del 10%, la de agregado grueso de 1/2 de pulgada es del 28.0%, y la de arena triturada es del 62.0%. Los resultados se detallan en la Figura 51 y su curva en la Figura 52.

Figura 51

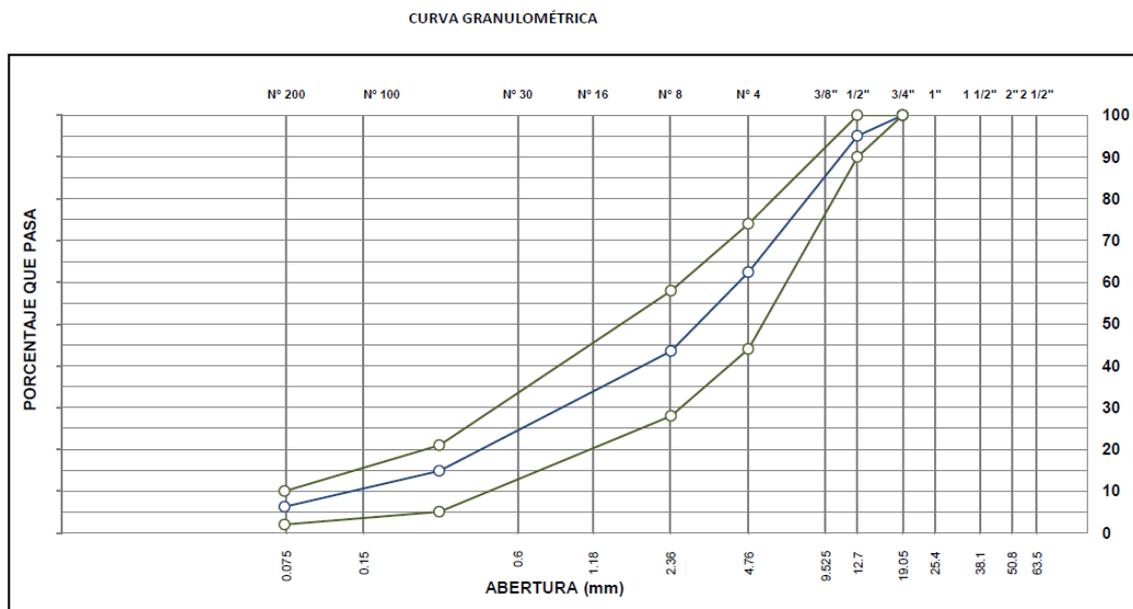
Combinación teórica de agregado grueso y fino

COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADO GRUESO Y FINO						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN	
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	4.9	4.9	95.1	90	100
3/8"	9.525	7.0	11.9	88.1		
1/4"	6.350	15.8	27.8	72.2		
# 4	4.760	9.8	37.6	62.4	44	74
# 8	2.380	18.9	56.5	43.5	28	58
# 10	2.000	4.6	61.0	39.0		
# 16	1.190	9.1	70.1	29.9		
# 20	0.840	3.7	73.8	26.2		
# 30	0.590	5.0	78.8	21.2		
# 40	0.426	3.2	82.0	18.0		
# 50	0.297	3.2	85.2	14.8	5	21
# 80	0.177	3.7	88.9	11.1		
# 100	0.149	1.4	90.3	9.7		
# 200	0.074	3.4	93.7	6.3	2	10
< # 200	---	6.3	100.0	0.0		

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 52

Curva granulométrica de combinación teórica de agregado grueso y fino



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Caracterización de agregado para mezcla asfáltica convencional 2.

En la Tabla 5 se detalla el análisis granulométrico de la piedra chancada 3/4". Así como la curva granulométrica ilustrada en la Figura 53.

Tabla 5

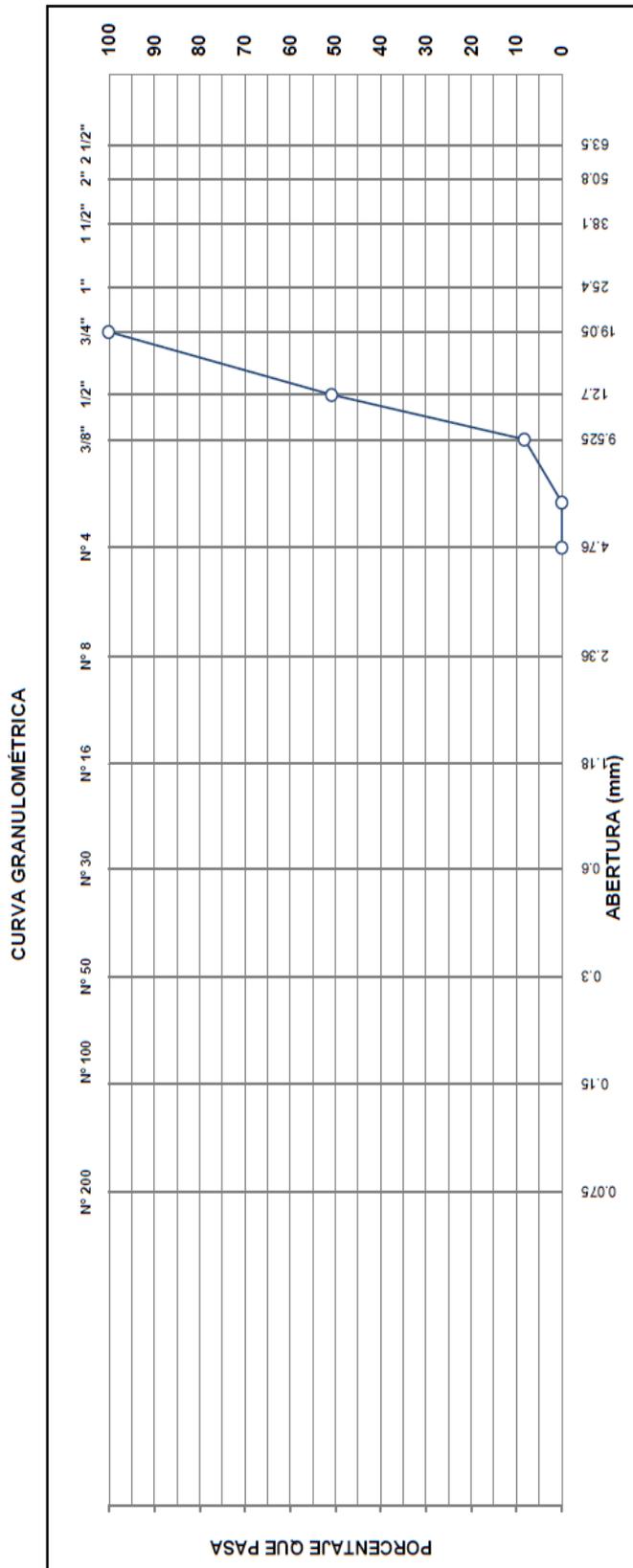
Análisis granulométrico de piedra chancada 3/4"

Serie americana	Abertura (mm)	Peso ret. (g)	Mallas		
			Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				100.000
1/2"	12.700	2417.000	49.200	49.200	50.800
3/8"	9.525	2092.400	42.600	91.800	8.200
1/4"	6.350	403.500	8.200	100.000	0.000
N°4	4.760				
N°8	2.380				
N°10	2.000				
N°16	1.190				
N°20	0.840				
N°30	0.390				
N°40	0.426				
N°50	0.297				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.074				
<	(ASTM C-117)				

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio

Figura 53

Curva granulométrica, piedra chancada 3/4"



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Tabla 6 se detalla el análisis granulométrico de la piedra chancada de 1/2". Así como la curva granulométrica ilustrada en la Figura 54.

Tabla 6

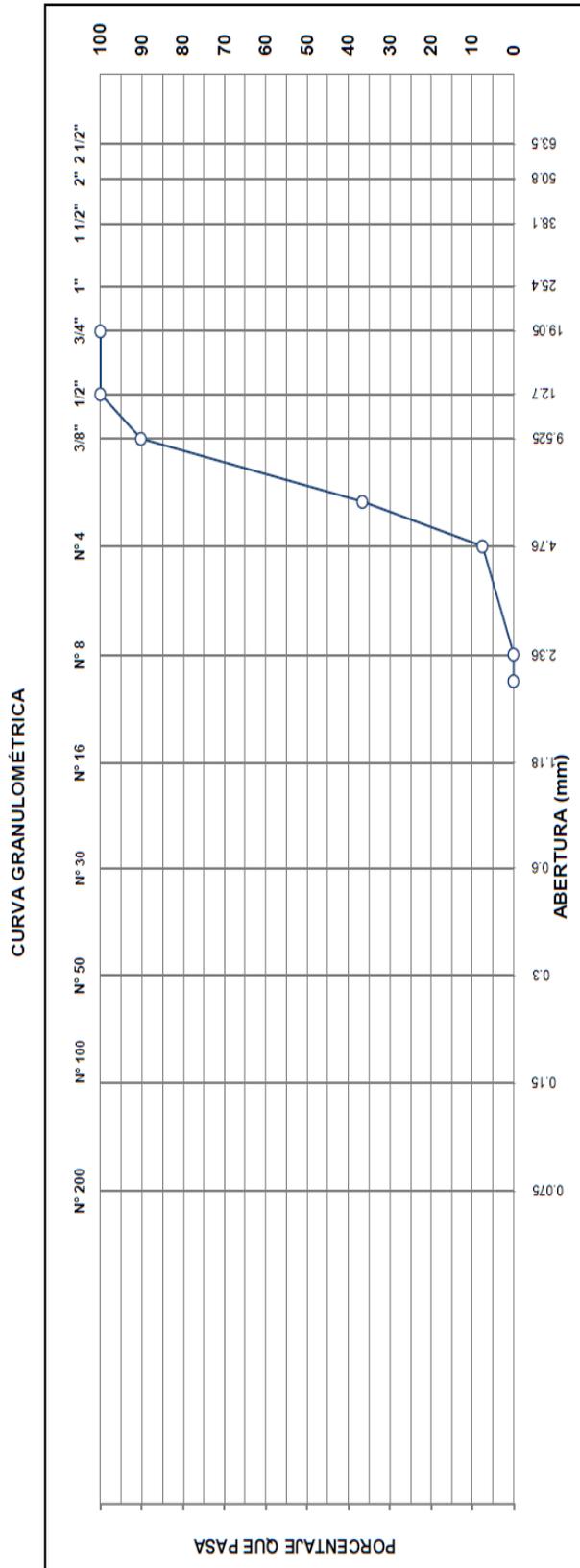
Análisis granulométrico de piedra chancada 1/2"

Serie americana	Abertura (mm)	Mallas			
		Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				100.000
3/8"	9.525	361.700	9.800	9.800	90.200
1/4"	6.350	1970.900	53.600	63.400	36.600
N°4	4.760	1069.800	29.100	92.500	7.500
N°8	2.380	276.300	7.500	100.000	0.000
N°10	2.000				
N°16	1.190				
N°20	0.840				
N°30	0.390				
N°40	0.426				
N°50	0.297				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.074				
<	(ASTM C-117)				

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 54

Curva granulométrica, piedra chancada 1/2"



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio

En la Tabla 7 se detalla el análisis granulométrico de la arena chancada. Así como la curva granulométrica ilustrada en la Figura 55.

Tabla 7

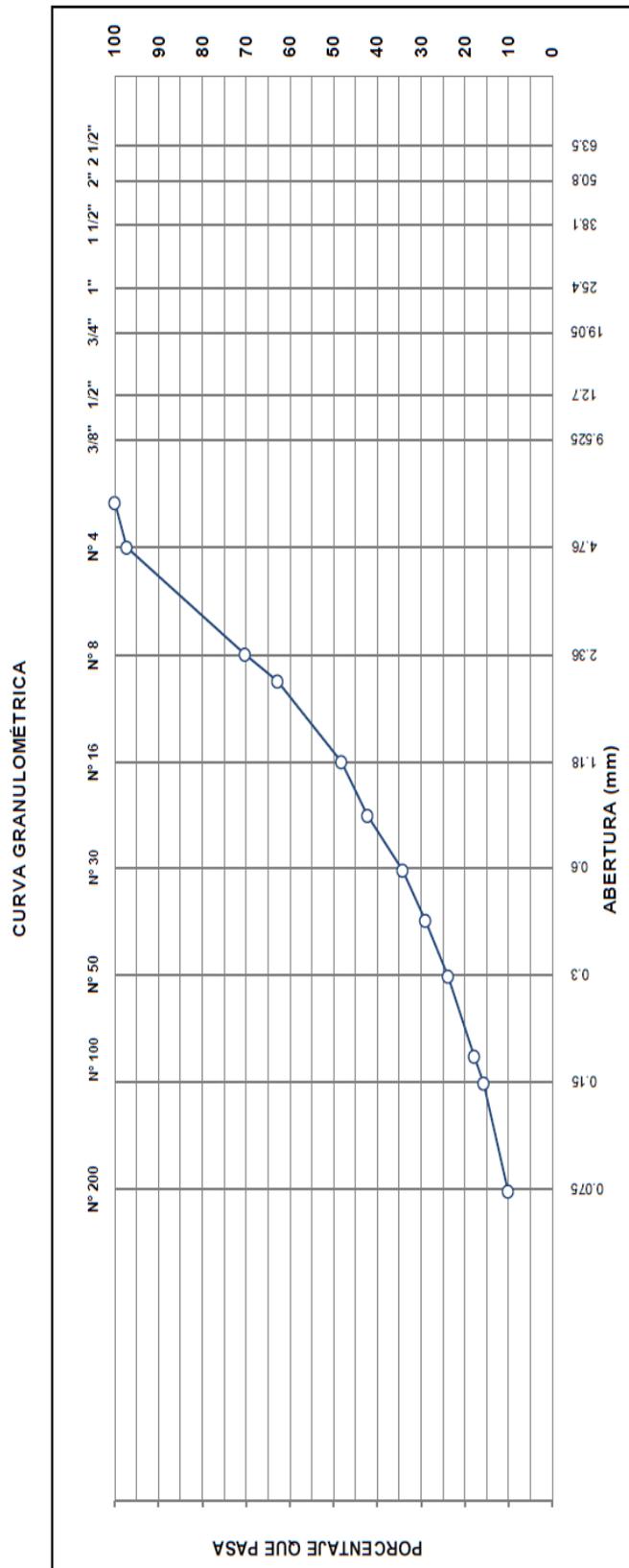
Análisis granulométrico de arena chancada

Serie americana	Mallas				
	Abertura (mm)	Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N°4	4.760	38.500	2.700	2.700	97.300
N°8	2.380	390.100	27.100	29.800	70.200
N°10	2.000	105.800	7.400	37.100	62.900
N°16	1.190	210.900	14.700	51.800	48.200
N°20	0.840	85.300	5.900	57.700	42.300
N°30	0.390	116.400	8.100	65.800	34.200
N°40	0.426	74.000	5.100	71.000	29.100
N°50	0.297	74.700	5.200	76.100	23.900
N°80	0.177	86.300	6.000	82.100	17.900
N°100	0.149	31.800	2.200	84.400	15.700
N°200	0.074	80.000	5.600	89.900	10.100
<	(ASTM C-117)	145.300	10.100	100.000	0.000

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio

Figura 55

Curva granulométrica, arena chancada



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio

Combinación teórica del agregado grueso y fino

Para el diseño de mezcla asfáltica según norma ASTM D3515 D5, debemos regirnos por la Figura 56 donde se muestra el detalle de gradación.

Figura 56

Tabla de gradación según norma ASTM D3515 D5

Abertura de malla	Mezclas cerradas / Mezcla densa								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2" (50 mm)	1 1/2" (37,5 mm)	1" (25,0 mm)	3/4" (19D mm)	1/2" (12,5 mm)	3/8" (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 1/2" (63 mm)	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2" (37,5mm)	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-
1" (25,0 mm)	60 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-
3/4" (19 Dmm)	-	56 - 80	-	-	100 - 100	-	-	-	-
1/2" (12,5mm)	35 - 65	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-
3/8" (9,5 mm)	-	-	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-
No. 4 (4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 53	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	-	100 - 100
No. 8 (2,36mm)	13 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	-	95 - 100
No. 16 (1,18mm)	-	-	-	-	-	-	40 - 80	-	85 - 100
No. 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	35 - 65	-	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	-	45 - 75
No. 100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3 - 20	-	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	-	9 - 20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 9	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Nota. ASTM

Después de realizar los análisis teóricos de la combinación de agregados gruesos y finos según las directrices de ASTM D3515 D5, se determinó que la proporción de agregado grueso de 3/4 de pulgada es del 15%, la de agregado grueso de 1/2 de pulgada es del 35.0%, y la de arena triturada es del 50.0%. Los resultados se detallan en la Figura 57 y su curva en la Figura 58.

Figura 57

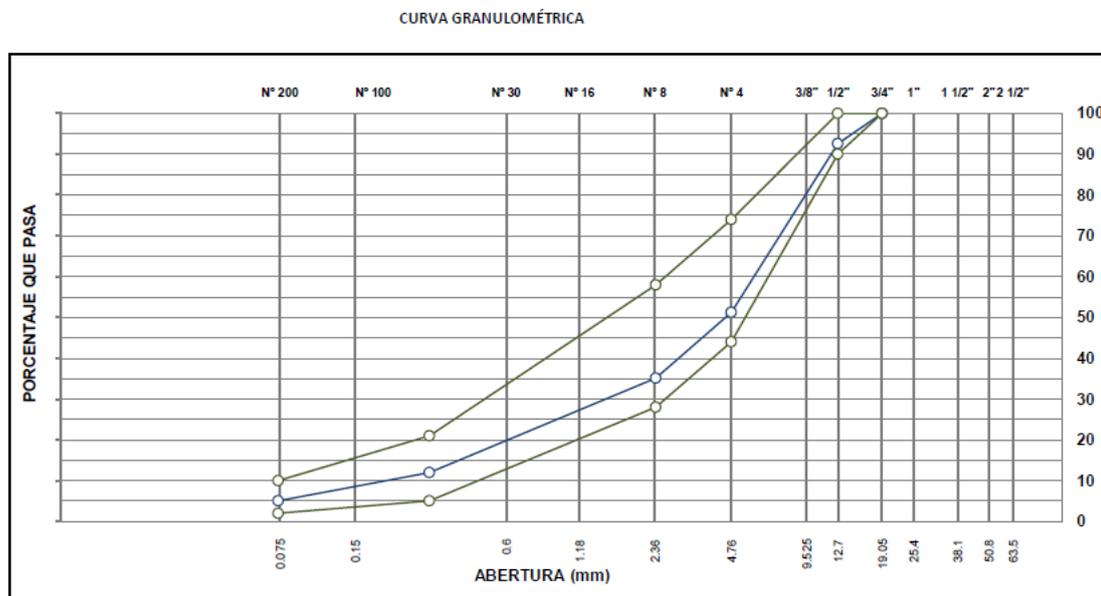
Combinación teórica de agregado grueso y fino

COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADO GRUESO Y FINO						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	GRADACIÓN	
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	7.4	7.4	92.6	90	100
3/8"	9.525	9.8	17.2	82.8		
1/4"	6.350	20.0	37.2	62.8		
# 4	4.760	11.5	48.7	51.3	44	74
# 8	2.380	16.2	64.9	35.1	28	58
# 10	2.000	3.7	68.6	31.4		
# 16	1.190	7.3	75.9	24.1		
# 20	0.840	3.0	78.9	21.1		
# 30	0.590	4.0	82.9	17.1		
# 40	0.426	2.6	85.5	14.5		
# 50	0.297	2.6	88.1	11.9	5	21
# 80	0.177	3.0	91.1	8.9		
# 100	0.149	1.1	92.2	7.8		
# 200	0.074	2.8	95.0	5.0	2	10
< # 200	--	5.1	100.0	0.0		

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 58

Curva granulométrica de combinación teórica de agregado grueso y fino



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 59 se detalla el diseño de la mezcla asfáltica modificada. En la Figura 60 se muestra a detalla de la estabilidad y fluencia de la mecla.

Figura 59

Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada

N° BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5
2 % A. GRUESO (3/4") EN PESO DE LA MEZCLA	9.55	9.55	9.55	9.50	9.50	9.50	9.45	9.45	9.45	9.40	9.40	9.40	9.35	9.35	9.35
3 % A. GRUESO (1/2") EN PESO DE LA MEZCLA	26.74	26.74	26.74	26.60	26.60	26.60	26.46	26.46	26.46	26.32	26.32	26.32	26.18	26.18	26.18
4 % A. FINO CHANCADA EN PESO DE LA MEZCLA	59.21	59.21	59.21	58.90	58.90	58.90	58.59	58.59	58.59	58.28	58.28	58.28	57.97	57.97	57.97
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
6 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (3/4")	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (1/2")	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
8 PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA CHANCADA	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687
9 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1099.6	1098.7	1095.5	1101.9	1100.5	1096.4	1102.2	1100.6	1098.4	1098.4	1096.8	1095.4	1094.1	1098.4	1095.7
10 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1100.5	1102.0	1098.4	1103.7	1103.7	1097.7	1103.8	1101.4	1099.9	1099.6	1097.9	1096.3	1095.3	1099.8	1096.4
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	624.8	625.4	623.8	635.2	635.4	631.0	637.4	635.0	633.8	635.9	635.1	633.8	635.0	636.8	634.8
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	475.7	476.6	474.6	468.5	468.3	466.7	466.4	466.4	466.1	463.7	462.8	462.5	460.3	463.0	461.6
13 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.312	2.305	2.308	2.352	2.350	2.349	2.363	2.360	2.357	2.369	2.370	2.368	2.377	2.372	2.374
14 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm ³) - ASTM D 2726	2.305	2.298	2.301	2.345	2.343	2.342	2.356	2.353	2.350	2.362	2.363	2.361	2.370	2.365	2.367
15 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.525	2.525	2.525	2.506	2.506	2.506	2.482	2.482	2.482	2.462	2.462	2.462	2.445	2.445	2.445
16 % VACIOS - ASTM D 3203	8.4	8.7	8.6	6.2	6.2	6.3	4.8	4.9	5.0	3.8	3.7	3.8	2.8	3.0	2.9
17 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697	2.697
18 V.M.A. (%)	18.1	18.4	18.3	17.1	17.2	17.3	17.2	17.3	17.4	17.4	17.4	17.5	17.6	17.8	17.7
19 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	53.6	52.7	53.0	63.7	64.0	63.6	72.1	71.7	71.3	78.2	78.7	78.3	84.1	83.1	83.6
20 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.715	2.715	2.715	2.716	2.716	2.716	2.709	2.709	2.709	2.708	2.708	2.708	2.710	2.710	2.710
21 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
22 % ASFALTO EFECTIVO	4.26	4.26	4.26	4.75	4.75	4.75	5.33	5.33	5.33	5.85	5.85	5.85	6.33	6.33	6.33
23 FLUJO (0,01pulgada)	11.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	13.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	15.0
24 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1104	1091	1109	1125	1117	1117	1189	1181	1187	1164	1159	1151	1097	1102	1110
25 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.14	1.14	1.14	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
26 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1259	1244	1265	1339	1329	1329	1415	1405	1412	1385	1379	1370	1306	1311	1321

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 60

Características del Marshall Modificado

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.6	5.8	6.0
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.367	2.372	2.374
VACIOS (%)	4.6	4.1	3.7
V.M.A. (%)	17.2	17.2	17.3
V.F.A. (%)	73.3	76.1	78.5
FLUJO (0,25 mm)	13.8	14.0	14.1
ESTABILIDAD (kg)	1399	1400	1389
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	3996	3941	3870
RELACIÓN POLVO/ASFALTO	1.2	1.1	1.1

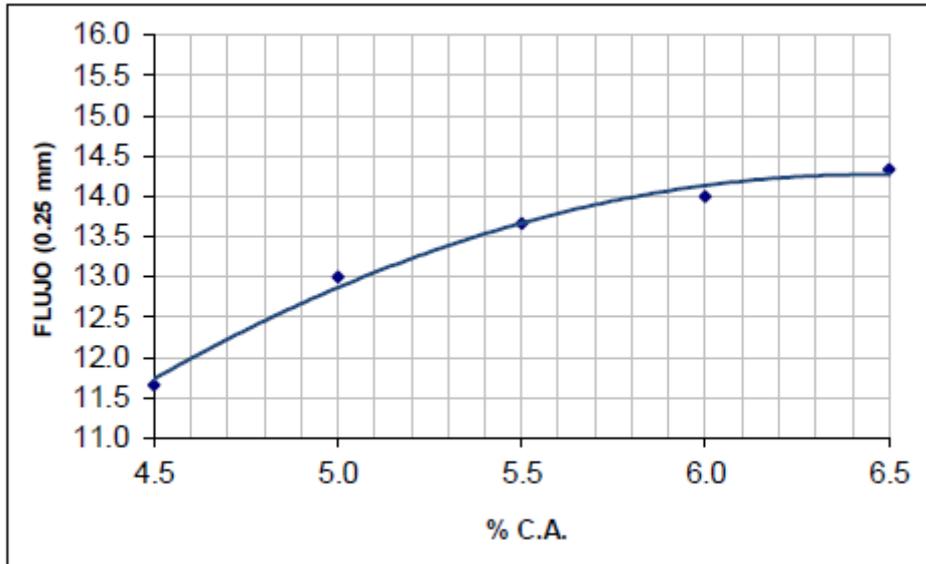
Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En las siguientes curvas se muestra la relación entre distintos parámetros y el cemento asfáltico.

En la Figura 61 se aprecia la relación flujo y cemento asfáltico.

Figura 61

Flujo vs. % Cemento Asfáltico.

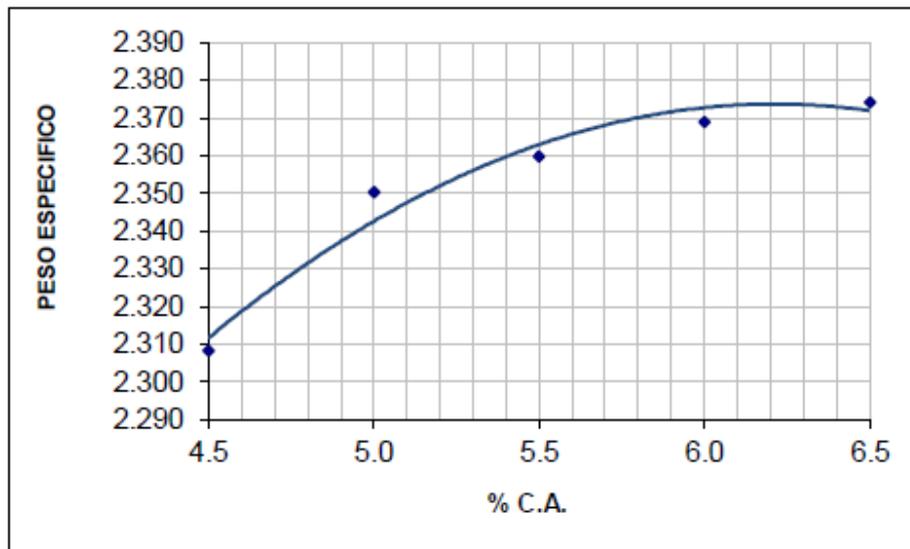


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 62 se aprecia la relación peso específico y cemento asfáltico.

Figura 62

Peso específico vs. % Cemento Asfáltico.

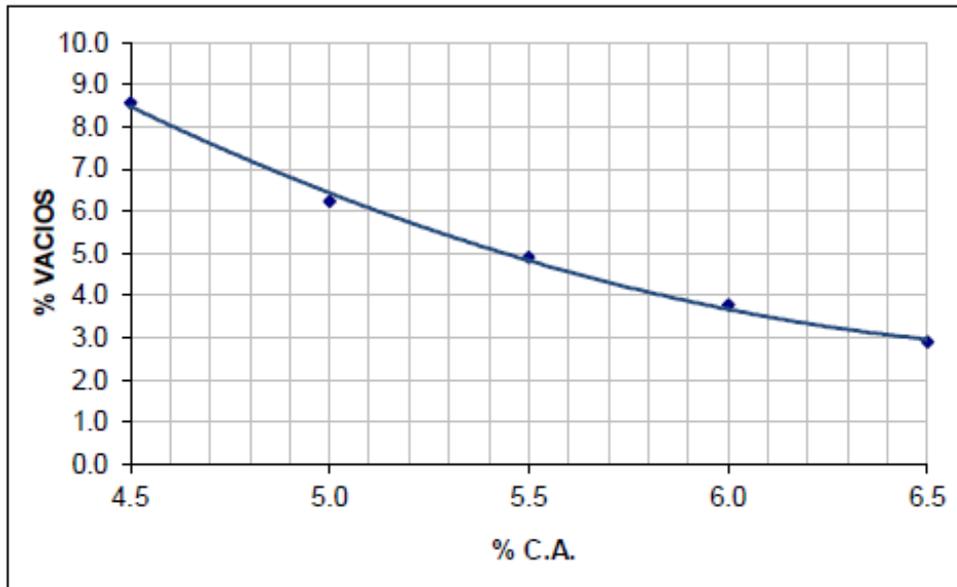


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 63 se aprecia la relación porcentaje de vacíos y cemento asfáltico.

Figura 63

% Vacíos vs. % Cemento Asfáltico

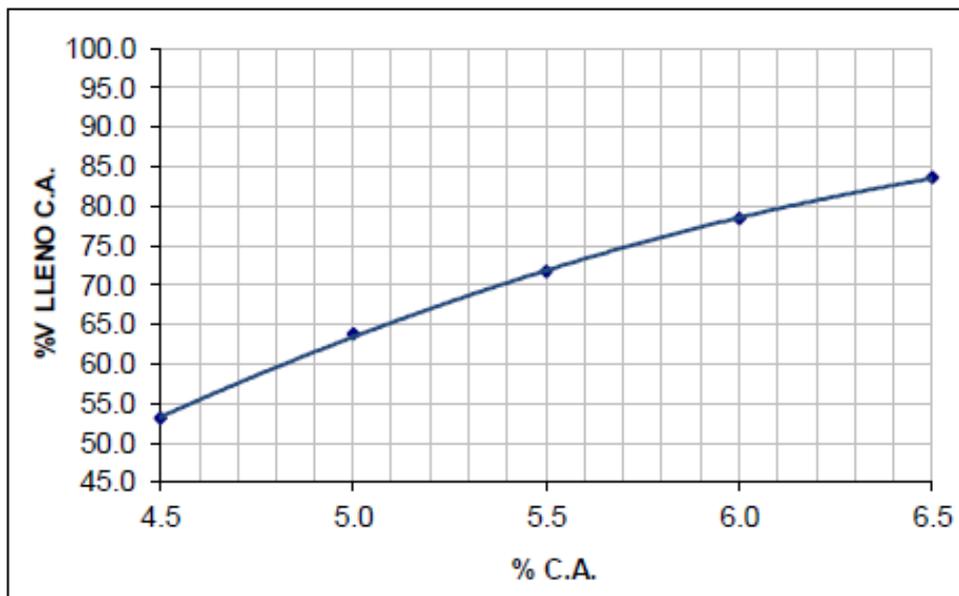


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 64 se aprecia la relación peso específico y cemento asfáltico.

Figura 64

% Vacíos vs. % Cemento Asfáltico

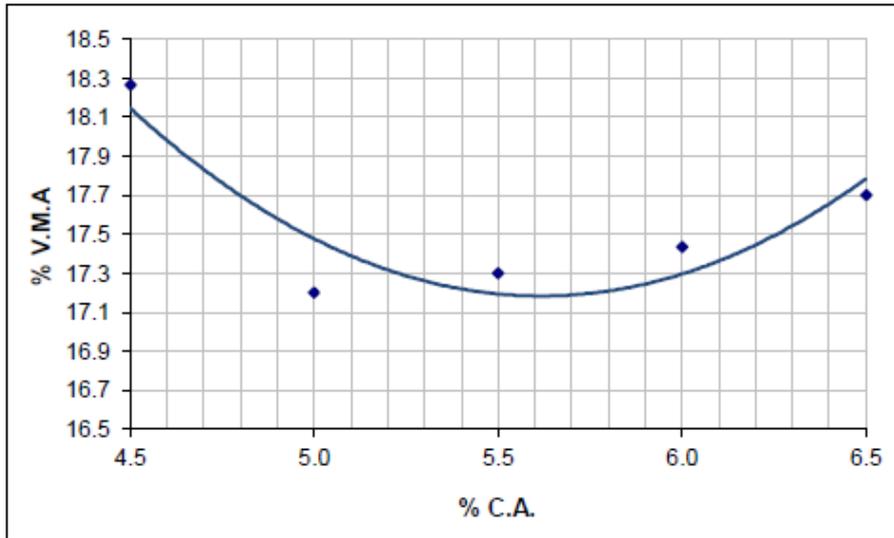


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 65 se aprecia la relación porcentaje V.M.A y cemento asfáltico.

Figura 65

%V.M.A. vs. % Cemento Asfáltico.

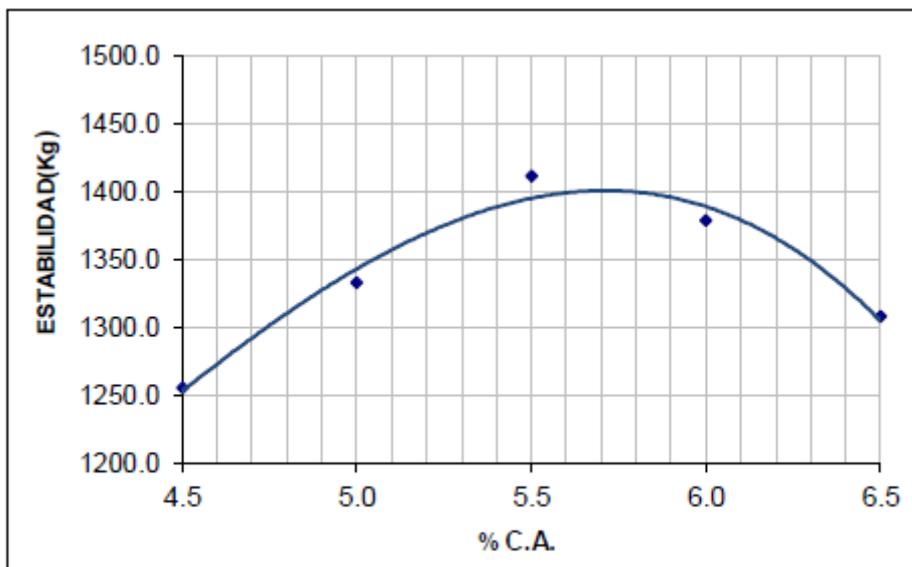


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 66 se aprecia la relación estabilidad y cemento asfáltico.

Figura 66

Estabilidad vs. % Cemento Asfáltico



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 67 se detalla el diseño de mezcla asfáltica modifica 2. Así como sus características de Marshall en la Figura 68.

Figura 67

Diseño de la mezcla asfáltica modificada 2 con polímeros SBS

	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA															
2 % A. GRUESO (3/4") EN PESO DE LA MEZCLA	14.33	14.33	14.33	14.25	14.25	14.25	14.18	14.18	14.18	14.10	14.10	14.10	14.03	14.03	14.03
3 % A. GRUESO (1/2") EN PESO DE LA MEZCLA	33.43	33.43	33.43	33.25	33.25	33.25	33.08	33.08	33.08	32.90	32.90	32.90	32.73	32.73	32.73
4 % A. FINO CHANCADA EN PESO DE LA MEZCLA	47.75	47.75	47.75	47.50	47.50	47.50	47.25	47.25	47.25	47.00	47.00	47.00	46.75	46.75	46.75
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A.	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
6 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (3/4")	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (1/2")	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706	2.706
8 PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA CHANCADA	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687	2.687
9 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1145.0	1142.1	1140.2	1147.4	1146.2	1145.5	1145.8	1140.3	1147.9	1140.5	1135.4	1138.5	1139.1	1142.3	1140.9
10 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1152.5	1149.5	1148.7	1149.8	1148.6	1147.6	1147.0	1142.4	1149.6	1141.6	1136.5	1139.2	1140.1	1142.8	1141.7
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	663.7	663.4	661.4	666.4	667.5	665.5	670.1	666.7	670.0	666.8	664.3	665.0	666.8	667.5	667.5
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	488.8	486.1	487.3	483.4	481.1	482.1	476.9	475.7	479.6	474.8	472.2	474.2	473.3	475.3	474.2
13 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.342	2.350	2.340	2.374	2.382	2.376	2.403	2.397	2.393	2.402	2.404	2.401	2.407	2.403	2.406
14 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm ³) - ASTM D 2726	2.335	2.343	2.333	2.367	2.375	2.369	2.396	2.390	2.386	2.395	2.397	2.394	2.400	2.396	2.399
15 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.537	2.537	2.537	2.518	2.518	2.518	2.498	2.498	2.498	2.478	2.478	2.478	2.456	2.456	2.456
16 % VACIOS - ASTM D 3203	7.7	7.4	7.8	5.7	5.4	5.6	3.8	4.0	4.2	3.0	3.0	3.1	2.0	2.2	2.0
17 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700
18 V.M.A. (%)	17.2	16.9	17.2	16.5	16.2	16.4	15.9	16.1	16.3	16.4	16.3	16.4	16.7	16.8	16.7
19 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	55.2	56.2	54.7	65.5	66.7	65.9	76.1	75.2	74.2	81.7	81.6	81.1	88.0	86.9	88.0
20 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.729	2.729	2.729	2.730	2.730	2.730	2.729	2.729	2.729	2.728	2.728	2.728	2.724	2.724	2.724
21 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
22 % ASFALTO EFECTIVO	4.12	4.12	4.12	4.61	4.61	4.61	5.12	5.12	5.12	5.64	5.64	5.64	6.19	6.19	6.19
23 FLUJO (0,01pulgada)	11.0	12.0	10.0	13.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	15.0	13.0	14.0	16.0	14.0	15.0
24 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1394	1378	1400	1420	1410	1410	1499	1488	1496	1538	1506	1570	1386	1391	1401
25 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.09	1.09	1.09	1.09	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
26 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1520	1502	1527	1547	1607	1607	1708	1697	1705	1753	1717	1790	1580	1586	1597

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 68

Características del Marshall Modificado

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.3	5.5	5.7
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.390	2.396	2.401
VACIOS (%)	4.6	4.1	3.5
V.M.A. (%)	16.2	16.1	16.1
V.F.A. (%)	71.5	74.8	77.9
FLUJO (0,25 mm)	13.0	13.4	13.7
ESTABILIDAD (kg)	1660	1707	1742
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	5029	5021	4988
RELACIÓN POLVO/ASFALTO	1.0	1.0	1.0

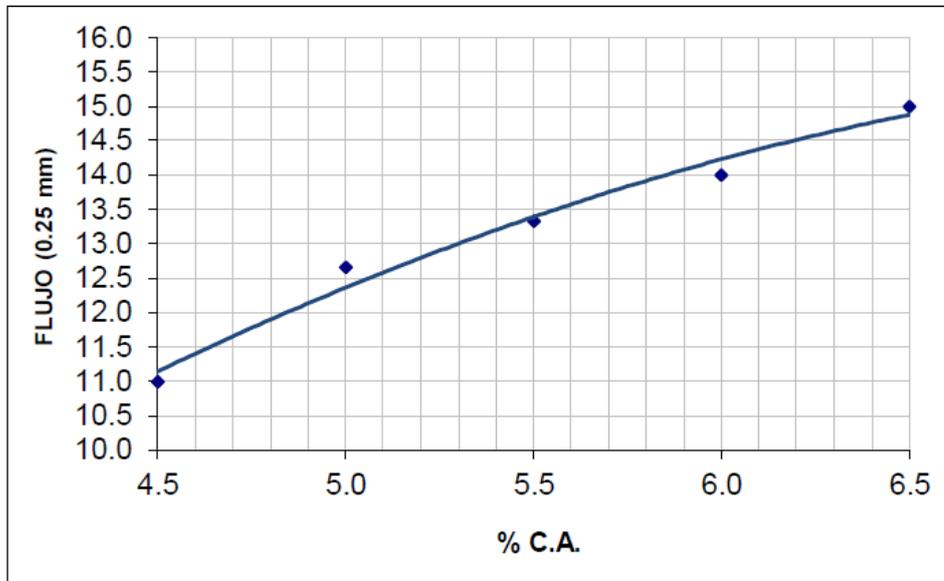
Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En las siguientes curvas se muestra la relación entre distintos parámetros y el cemento asfáltico.

En la Figura 69 se aprecia la relación flujo y cemento asfáltico.

Figura 69

Flujo vs. % Cemento Asfáltico

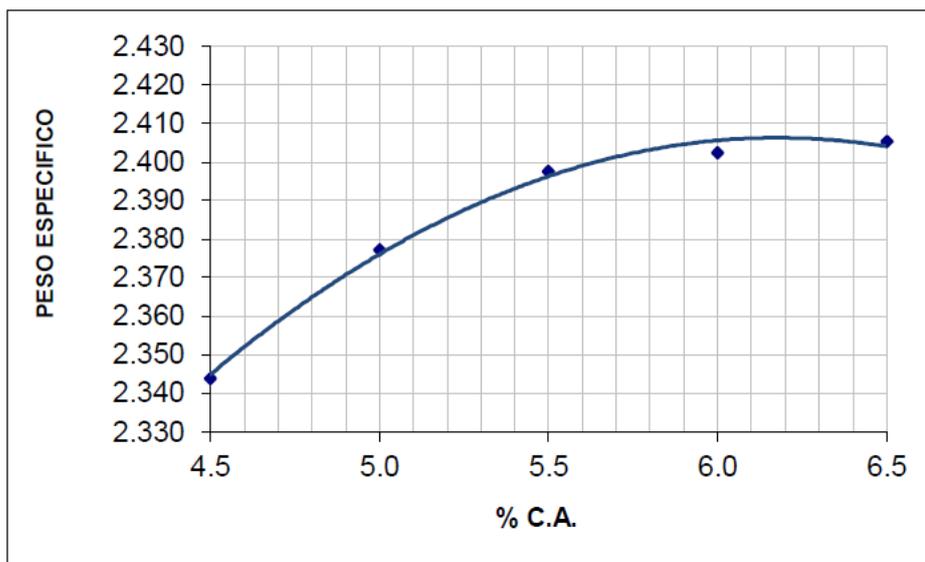


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 70 se aprecia la relación peso específico y cemento asfáltico.

Figura 70

Peso específico vs. % Cemento Asfáltico

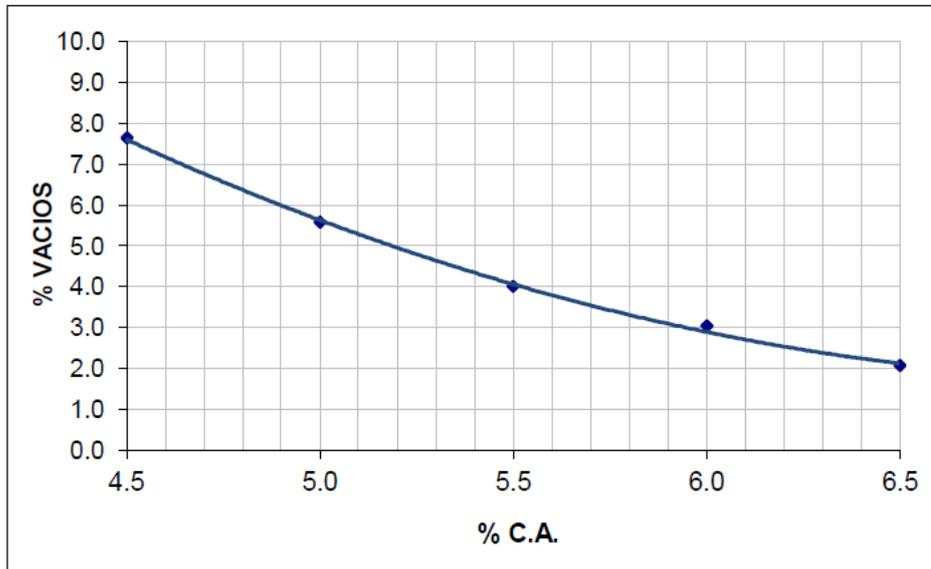


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 71 se aprecia la relación porcentaje de vacíos y cemento asfáltico.

Figura 71

%De vacíos vs. % Cemento Asfáltico

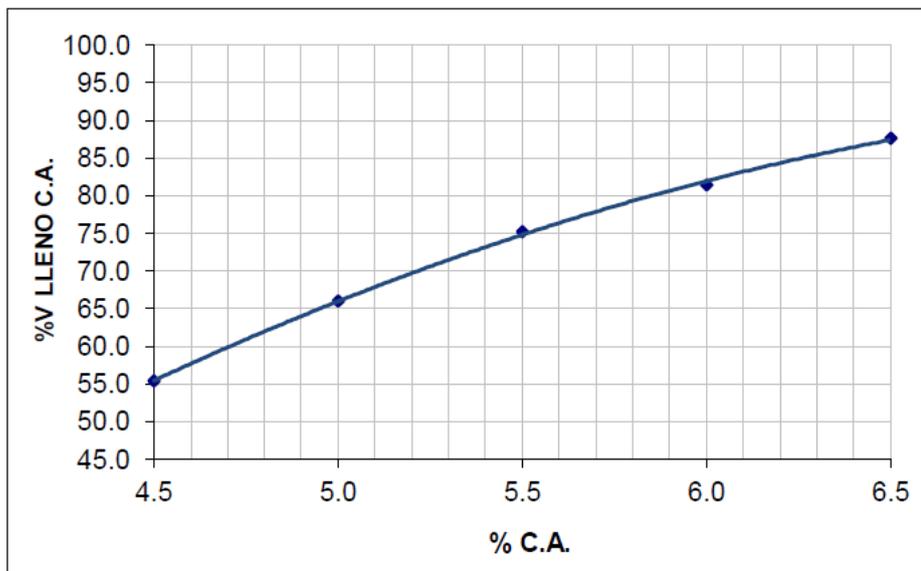


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 72 se aprecia la relación porcentaje llenos de vacíos y cemento asfáltico.

Figura 72

%Lleno C.A. vs. % Cemento Asfáltico

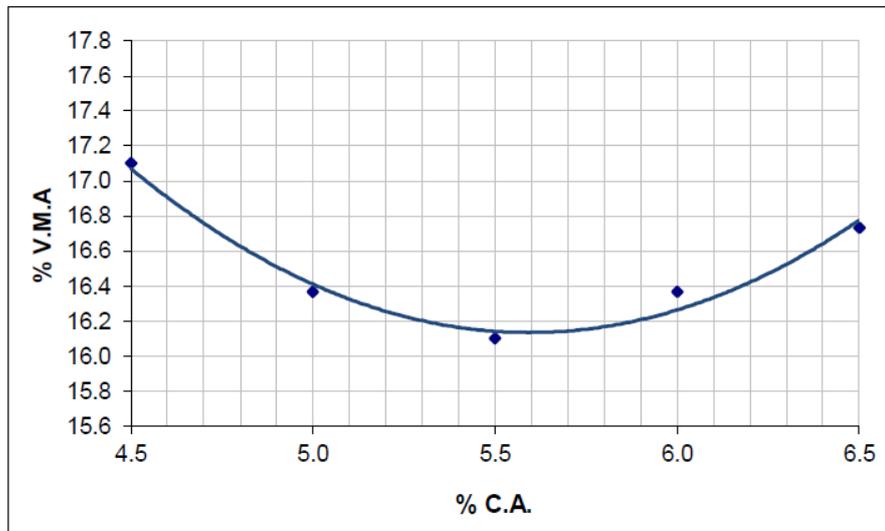


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 73 se aprecia la relación porcentaje V.M.A y cemento asfáltico.

Figura 73

%V.M.A. vs. % Cemento Asfáltico

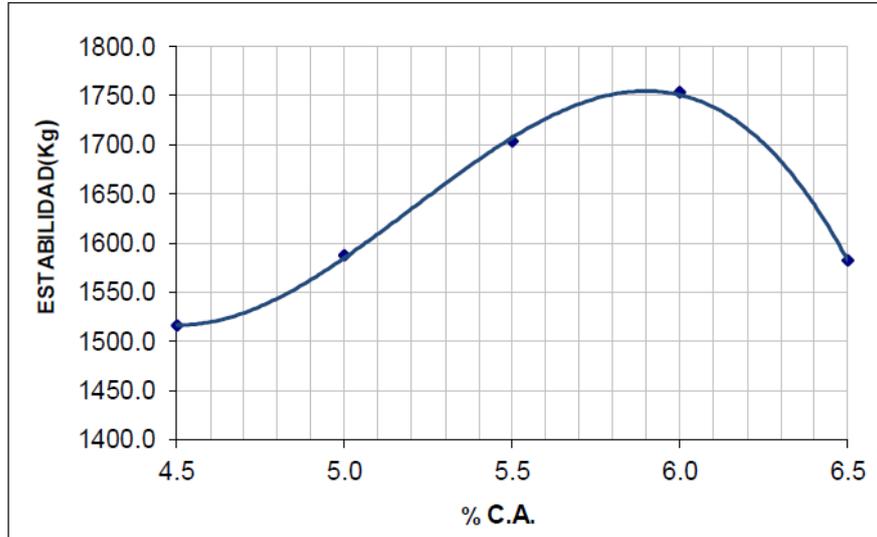


Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la Figura 74 se aprecia la relación estabilidad y cemento asfáltico.

Figura 74

Estabilidad vs. % Cemento Asfáltico



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

5.2.4 Ensayo Lottman Modificado

Conocido como ensayo de tracción indirecta, se realiza con el propósito de evaluar la resistencia al deterioro causado por efecto de la humedad en mezclas asfálticas. En este estudio, se llevarán a cabo pruebas utilizando briquetas de mezclas asfálticas, tanto convencional como modificada con polímeros.

Ensayo Lottman modificado mezcla asfáltica convencional 1.

Se elaboraron un total de seis probetas de la mezcla asfáltica, cada una de ellas con un diámetro de 4 pulgadas (10.16 cm) y una altura de 2.44 pulgadas (6.20 cm). Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 75.

Figura 75

Ensayo Lottman en mezcla asfáltica convencional 1

Muestra	Condición Seca			Condición Húmeda		
	1	2	3	4	5	6
Diametro (pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura (pulg)	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
W.Aire (g)	1097.8	1096.0	1098.7	1097.3	1093.8	1094.2
W.SSS (g)	1103.2	1099.6	1095.5	1099.5	1096.5	1097.9
W.Agua (g)	627.8	625.1	620.8	624.7	623.5	624.8
Volumen (cm3)	475.4	474.5	474.8	474.8	473.0	473.1
Densidad (g/cm3)	2.309	2.310	2.314	2.311	2.313	2.313
% Vacios	6.5	6.5	6.3	6.4	6.4	6.4
	Condición Seca			Saturación de especimenes		
70% Sat.	Acondicionamiento de Especimenes 1 hora a 25 °C			1118.7	1114.9	1115.3
80% Sat.				1121.8	1117.9	1118.3
Promedio				1120.3	1116.4	1116.8
Peso Saturado (g).				1121.5	1117.0	1117.2
% Saturación.				79.1	77.0	76.3
	Acondicionamiento de Especimenes 1 hora a 25 °C			Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C		
W.Aire (g)				1097.3	1093.8	1094.2
W.SSS (g)				1125.2	1119.3	1122.0
W.Agua (g)				646.0	642.6	645.8
Volumen (cm3)				479.1	476.7	476.2
Densidad (g/cm3)				2.290	2.295	2.298
% Vacios				7.3	7.1	7.0
Altura (pulg)	2.44	2.44	2.44	2.45	2.44	2.45
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2009	1971	1933	1638	1610	1657
Seco (STD)	131.0	128.7	126.2			
Húmedo (STM)				106.6	104.8	107.7
	Condicion Seca			Condicion Humeda		
	128.6			106.4		
	TSR		82.7 %			

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Ensayo de Lottman modificado mezcla asfáltica convencional 2.

Se elaboraron un total de seis probetas de la mezcla asfáltica, cada una de ellas con un diámetro de 4 pulgadas (10.16 cm) y una altura de 2.44 pulgadas (6.20 cm). Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 76.

Figura 76

Ensayo Lottman en mezcla asfáltica convencional 2

	<i>Condición Seca</i>			<i>Condición Húmeda</i>		
<i>Muestra</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Diametro (pulg)</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
<i>Altura (pulg)</i>	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
<i>W.Aire (g)</i>	1098.5	1096.7	1099.4	1098.0	1094.5	1094.9
<i>W.SSS (g)</i>	1103.9	1100.3	1096.2	1100.2	1097.2	1098.6
<i>W.Agua (g)</i>	628.2	625.5	621.1	625.1	623.9	625.2
<i>Volumen (cm3)</i>	475.7	474.8	475.1	475.1	473.3	473.4
<i>Densidad (g/cm3)</i>	2.309	2.310	2.314	2.311	2.313	2.313
<i>% Vacios</i>	7.0	6.9	6.8	6.9	6.8	6.8
	<i>Condición Seca</i>			<i>Saturación de especímenes</i>		
<i>70% Sat.</i>	<i>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C</i>			1120.9	1117.1	1117.5
<i>80% Sat.</i>				1124.2	1120.3	1120.7
<i>Promedio</i>				1122.5	1118.7	1119.1
<i>Peso Saturado (g).</i>				1123.8	1119.0	1120.4
<i>% Saturación.</i>				78.8	76.0	79.1
				<i>Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C</i>		
<i>W.Aire (g)</i>				1098.0	1094.5	1094.9
<i>W.SSS (g)</i>				1127.6	1121.4	1123.1
<i>W.Agua (g)</i>				648.3	644.4	646.2
<i>Volumen (cm3)</i>				479.3	477.0	476.9
<i>Densidad (g/cm3)</i>				2.291	2.295	2.296
<i>% Vacios</i>				7.7	7.6	7.5
<i>Altura (pulg)</i>	2.44	2.44	2.44	2.45	2.44	2.45
<i>Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)</i>	2646	2579	2484	2313	2294	2332
<i>Seco (STD)</i>	172.5	168.5	162.2			
<i>Húmedo (STM)</i>				150.5	149.3	151.6
	<i>Condicion Seca</i>			<i>Condicion Humeda</i>		
	167.7			150.5		
	<i>TSR</i>		89.7 %			

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Ensayo de Lottman modificado mezcla asfáltica modificada 1.

Se elaboraron un total de seis probetas de la mezcla asfáltica, cada una de ellas con un diámetro de 4 pulgadas (10.16 cm) y una altura de 2.44 pulgadas (6.20 cm). Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 77.

Figura 77

Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada 1

	<i>Condición Seca</i>			<i>Condición Húmeda</i>		
<i>Muestra</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Diametro (pulg)</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
<i>Altura (pulg)</i>	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
<i>W.Aire (g)</i>	1102.9	1101.1	1103.8	1102.4	1098.9	1099.3
<i>W.SSS (g)</i>	1108.3	1104.7	1100.6	1104.6	1101.6	1103.0
<i>W.Agua (g)</i>	630.7	628.0	623.6	627.6	626.4	627.7
<i>Volumen (cm3)</i>	477.6	476.7	477.0	477.0	475.2	475.3
<i>Densidad (g/cm3)</i>	2.309	2.310	2.314	2.311	2.312	2.313
<i>% Vacios</i>	6.5	6.5	6.3	6.4	6.4	6.4
	<i>Condición Seca</i>			<i>Saturación de especímenes</i>		
<i>70% Sat.</i>				1123.9	1120.2	1120.4
<i>80% Sat.</i>				1127.0	1123.2	1123.5
<i>Promedio</i>				1125.4	1121.7	1122.0
<i>Peso Saturado (g).</i>				1126.1	1122.5	1122.9
<i>% Saturación.</i>				77.2	77.6	78.1
	<i>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C</i>			<i>Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C</i>		
<i>W.Aire (g)</i>				1102.4	1098.9	1099.3
<i>W.SSS (g)</i>				1129.2	1123.3	1126.0
<i>W.Agua (g)</i>				648.3	644.9	648.1
<i>Volumen (cm3)</i>				480.9	478.4	477.9
<i>Densidad (g/cm3)</i>				2.292	2.297	2.300
<i>% Vacios</i>				7.2	7.0	6.9
<i>Altura (pulg)</i>	2.44	2.44	2.44	2.45	2.44	2.45
<i>Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)</i>	2256	2180	2104	1961	1933	1733
<i>Seco (STD)</i>	147.1	142.4	137.4			
<i>Húmedo (STM)</i>				127.6	125.8	112.7
	<i>Condicion Seca</i>			<i>Condicion Humeda</i>		
	142.3			122.0		
	<i>TSR</i>	85.8 %				

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Ensayo de Lottman modificado mezcla asfáltica modificada 2.

Se elaboraron un total de seis probetas de la mezcla asfáltica, cada una de ellas con un diámetro de 4 pulgadas (10.16 cm) y una altura de 2.44 pulgadas (6.20 cm). Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 78.

Figura 78

Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada 2

Muestra	Condición Seca			Condición Húmeda		
	1	2	3	4	5	6
Diametro (pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura (pulg)	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
W.Aire (g)	1101.8	1100.0	1102.7	1101.3	1097.8	1098.2
W.SSS (g)	1107.2	1103.6	1099.5	1103.5	1100.5	1101.9
W.Agua (g)	630.1	627.4	623.0	627.0	625.8	627.1
Volumen (cm ³)	477.1	476.2	476.5	476.5	474.7	474.8
Densidad (g/cm ³)	2.309	2.310	2.314	2.311	2.313	2.313
% Vacios	7.0	6.9	6.8	6.9	6.8	6.8
	Condición Seca			Saturación de especímenes		
70% Sat.	Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C			1124.3	1120.4	1120.8
80% Sat.				1127.6	1123.7	1124.1
Promedio				1125.9	1122.0	1122.4
Peso Saturado (g).				1125.8	1129.0	1122.5
% Saturación.				74.6	96.5	75.2
				Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C		
W.Aire (g)				1101.3	1097.8	1098.2
W.SSS (g)				1128.1	1122.2	1124.9
W.Agua (g)				647.7	644.3	647.5
Volumen (cm ³)				480.4	477.9	477.4
Densidad (g/cm ³)				2.292	2.297	2.300
% Vacios				7.6	7.4	7.3
Altura (pulg)	2.44	2.44	2.44	2.45	2.44	2.45
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2684	2589	2494	2541	2351	2256
Seco (STD)	175.0	169.1	162.9			
Húmedo (STM)				165.4	153.0	146.7
	Condición Seca			Condición Húmeda		
	169.0			155.0		
	ISR		91.7 %			

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

5.2.5 Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo.

Tiene como objetivo calcular la deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica.

Mezcla asfáltica convencional 1.

Las muestras se confeccionaron con un diámetro de 15 cm y una altura de 6 cm. Previamente, se sometieron a un proceso de acondicionamiento al sumergirlas en agua a una temperatura de 50°C. Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 79.

Figura 79

Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica convencional 1

Información de Ensayo

Cantera : Intrein
Tipo C.A : Asfalto PEN 60/70
Aditivo : 0.2% Dope S

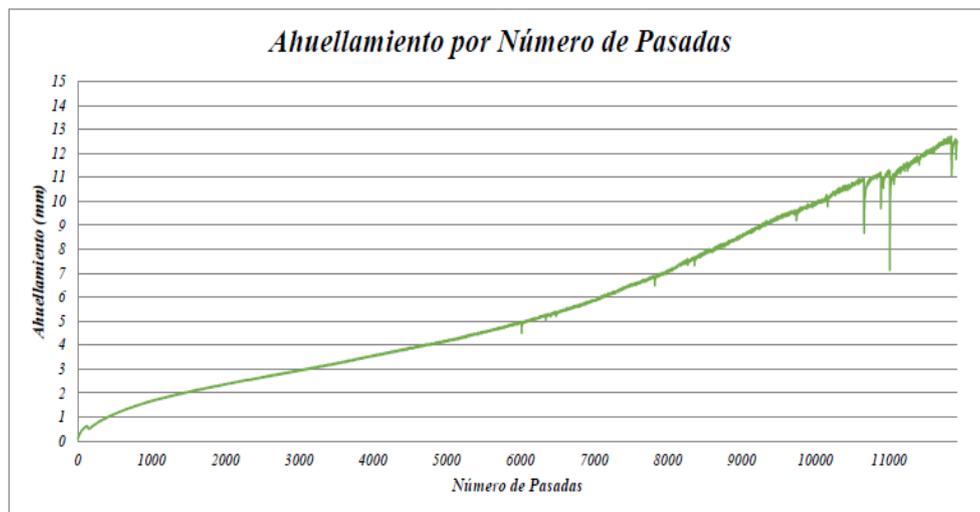
Método de Compactación : Compactador Giratorio Superpave
Porcentaje de Vacíos (%) : 6.8 %
Relación Estabilidad/Flujo : 3764

Número de Ensayo : 3
Tipo Muestra : Doble Nucleos
Diámetro : 150.0 mm
Espesor : 60.0 mm

Temperatura de Prueba : 50 °C
Número Máximo de Pasadas : 20000 pasadas
Ahuellamiento Máximo : 12.5 mm
Velocidad de Rueda : 52 pasadas / min
Operador : Jain Quispe

Resultados

Ahuellamiento Alcanzado : 12.49 mm
Temperatura Media : 49.8 °C
Pasadas Alcanzadas : 11930



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Mezcla asfáltica convencional 2.

Las muestras se confeccionaron con un diámetro de 15 cm y una altura de 6 cm. Previamente, se sometieron a un proceso de acondicionamiento al sumergirlas en agua a una temperatura de 50°C. Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 80.

Figura 80

Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica convencional 2

Información de Ensayo

Cantera : Intrein
Tipo C.A : Asfalto PEN 60/70
Aditivo : 0.2% Dope S

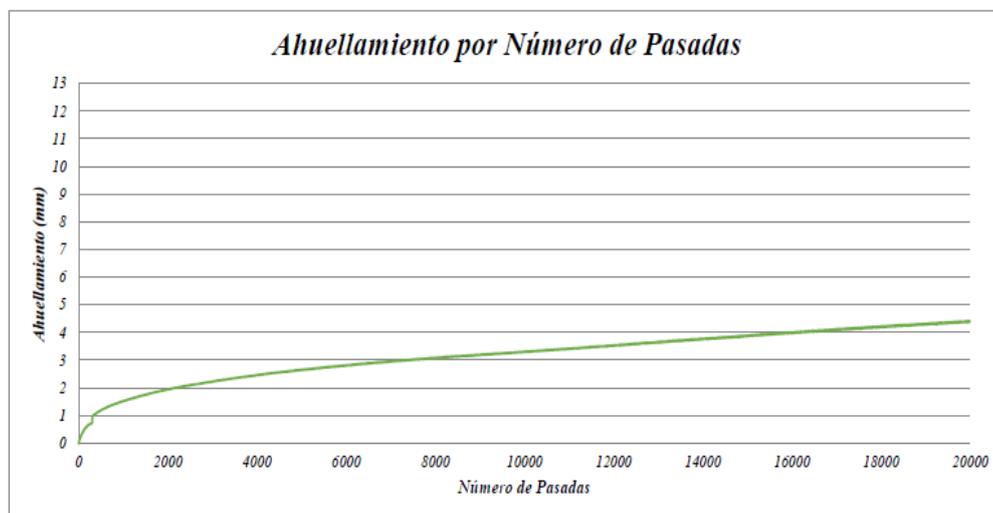
Método de Compactación : Compactador Giratorio Superpave
Porcentaje de Vacíos : 7.1%
Relación Estabilidad/Flujo : 4414

Número de Ensayo : 2
Tipo Muestra : Doble Núcleos
Diámetro : 150.0 mm
Espesor : 60.0 mm

Temperatura de Prueba : 50 °C
Número Máximo de Pasadas : 20000 pasadas
Ahuellamiento Máximo : 12.5 mm
Velocidad de Rueda : 52 pasadas / min
Operador : Jain Quispe

Resultados

Ahuellamiento Alcanzado : 4.50 mm
Temperatura Media : 49.9 °C
Pasadas Alcanzadas : 20000



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Mezcla asfáltica modificada 1 con polímero SBS.

Las muestras se confeccionaron utilizando la mezcla modificada 1 con polímeros SBS, con un diámetro de 15 centímetros y una altura de 6 centímetros. Previamente, se sometieron a un proceso de acondicionamiento al sumergirlas en agua a una temperatura de 50°C. Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 81.

Figura 81

Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada 1 con polímeros SBS

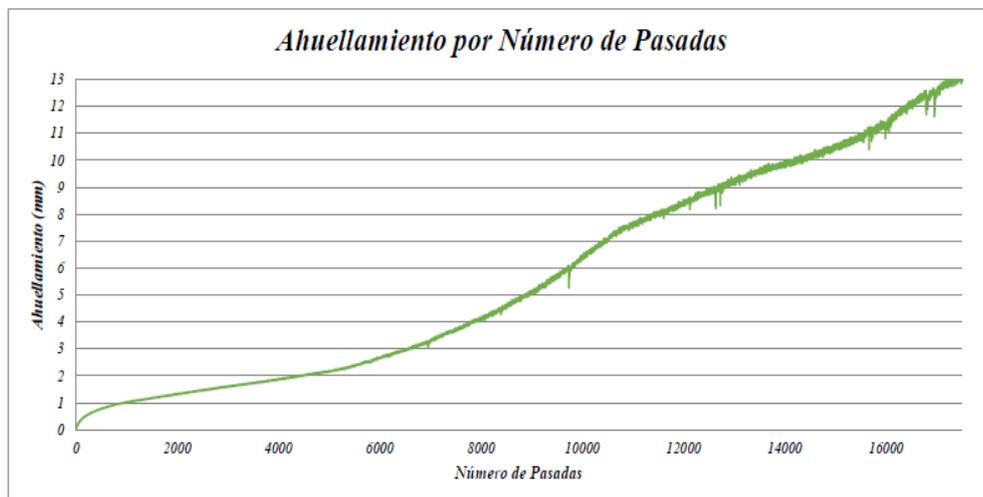
Información de Ensayo

Canteras	: Intraín	Metodo de Compactación	: Compactador Giratorio Superpave
Asfalto	: Asfalto Modificado con polimero SBS Tipo IC	Porcentaje de Vacíos (%)	: 6.3 %
Aditivo (%)	: 0.2 % DOPE S	Relación Estabilidad/Flujo	: 3941

Número de Ensayo	: 4	Temperatura de Prueba	: 50 °C
Tipo Muestra	: Doble Nucleos	Número Máximo de Pasadas	: 20000 pasadas
Diámetro	: 150.0 mm	Ahuellamiento Máximo	: 12.5 mm
Espesor	: 60.0 mm	Velocidad de Rueda	: 52 pasadas / min
		Operador	: Jain Quispe

Resultados

Ahuellamiento Alcanzado	: 13.20 mm
Temperatura Media	: 49.7 °C
Pasadas Alcanzadas	: 17215



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Mezcla asfáltica modificada 2 con polímero SBS

Las muestras se confeccionaron utilizando la mezcla modificada 2 con polímeros SBS, con un diámetro de 15 centímetros y una altura de 6 centímetros. Previamente, se sometieron a un proceso de acondicionamiento al sumergirlas en agua a una temperatura de 50°C. Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 82.

Figura 82

Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada 2 con polímeros SBS

Información de Ensayo

Canteras : Intreïn
Asfalto : Asfalto Modificado con Polimero SBS Tipo IC
Aditivo (%) : 0.2 % Dope S

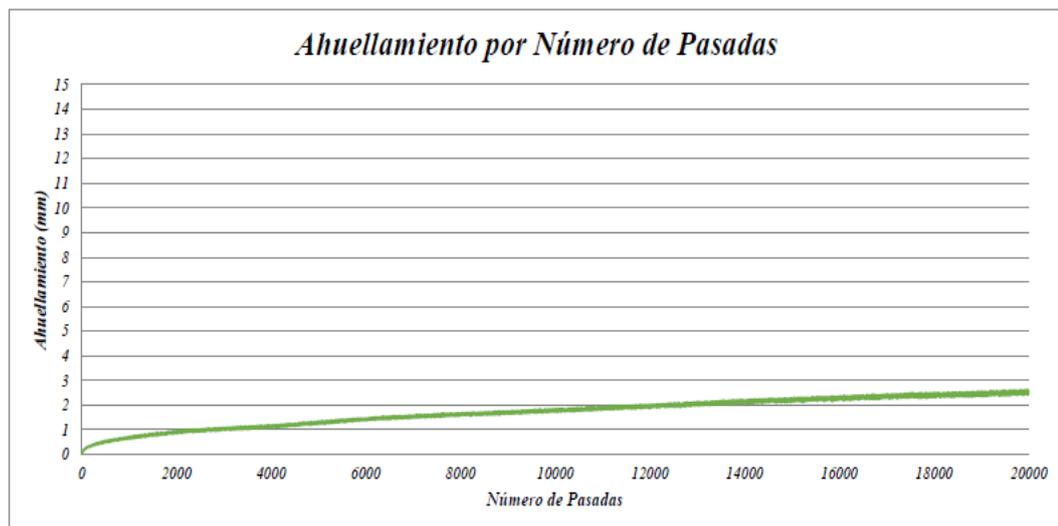
Metodo de Compactación : Compactador Giratorio Superpave
Porcentaje de Vacios (%) : 6.3 %
Relación Estabilidad/Flujo : 5021

Número de Ensayo : 1
Tipo Muestra : Doble Núcleos
Diámetro : 150.0 mm
Espesor : 60.0 mm

Temperatura de Prueba : 50 °C
Número Máximo de Pasadas : 20000 pasadas
Ahuellamiento Máximo : 12.5 mm
Velocidad de Rueda : 52 pasadas / min
Operador : Jain Quispe

Resultados

Ahuellamiento Alcanzado : 2.48 mm
Temperatura Media : 49.5 °C
Pasadas Alcanzadas : 20000



Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

5.2.6 Ensayo de Módulo Resiliente

Este ensayo se determina mediante tracción indirecta implica la evaluación de un núcleo cilíndrico de mezcla asfáltica caliente utilizando una Máquina Universal UTM. Los parámetros tomados en cuenta para realizar esta prueba fueron los siguientes:

Forma de la señal de carga: Sinusoidal

Duración del impulso de carga: 100 milisegundos (ms)

Intervalo de descanso: 900 ms

Intervalo de repetición del impulso: 1000 ms

Número total de pulsaciones: 5

Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 83 y Figura 84, para el espécimen I de la mezcla convencional 1 y, Figura 85 y Figura 86, para el espécimen II de la mezcla convencional 2. Para las mezclas modificadas los resultados se detallan en la Figura 87 y Figura 89 para el espécimen I, y la Figura 88 y Figura 90 para el espécimen II.

Figura 83

Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 1 – ESPECIMEN 1

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Giratorio	
Cantera	: Intrein	Especimen	: 1
Asfalto	: 5.8 (%)	Area Transversal	: 7854 mm ²
Diametro	: 100.0 mm		
Espesor	: 60.2 mm		
Temperatura de Ensayo		Pulsos de acondicionamiento : 5	
Forma de Onda	: SINUSOIDAL	Carga de Contacto	: 225 (N)
Ancho de Pulso de Carga	: 100 (ms)	Carga Ciclica	: 2020 (N)
Periodo de Reposo	: 900 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado	: 0.35
Periodo de repetición de pulso	: 1000 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C	: 4 horas
Resultados			
Pulsos de acondicionamiento : 5		Propiedades	
Temperatura del Nucleo : 19.8 (°C)		Módulo Resiliente Total (Mpa)	4001
Temperatura de la Superficie : 20.0 (°C)		Módulo Resiliente Instantaneo (Mpa)	5199
		Fuerza de Carga Pico (N)	2064
		Fuerza de Asentamiento	237
		Deformación Recuperable Total	3.96
		Deformación Recuperable Total #1 (µm)	1.84
		Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.12
		Deformación Recuperable Instantanea	3.05
		Deformación Recuperable Instantanea #1 (µm)	1.37
		Deformación Recuperable Instantanea #2 (µm)	1.67

	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5	Media	Desv. Estándar	% CV
Módulo Resiliente Total (Mpa)	4001	3984	3925	3910	3880	3940	50.85	1.29
Módulo Resiliente Instantaneo (Mpa)	5199	5160	5053	5071	5021	5101	75.24	1.47
Fuerza de Carga Pico (N)	2064	2067	1999	1996	1972	2020	43.34	2.15
Fuerza de Asentamiento	237	233	220	219	220	226	8.80	3.89
Deformación Recuperable Total	3.96	3.97	3.76	3.77	3.70	3.83	0.12	3.26
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	1.84	1.85	1.71	1.69	1.68	1.75	0.09	4.87
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.12	2.12	2.05	3.81	2.02	2.42	0.78	31.99
Deformación Recuperable Instantanea	3.05	3.07	2.92	2.91	2.86	2.96	0.09	3.13
Deformación Recuperable Instantanea #1 (µm)	1.37	1.43	1.39	1.37	1.31	1.37	0.04	3.06
Deformación Recuperable Instantanea #2 (µm)	1.67	1.64	1.53	1.53	1.54	1.58	0.07	4.21

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 84

Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 1 – ESPECIMEN 2

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Giratorio						
Cantera	: Intrein	Especimen	: 2					
Asfalto	: 5.8 (%)	Area Transversal	: 7854 mm ²					
Diametro	: 100.0 mm							
Espesor	: 60.1 mm							
Temperatura de Ensayo		Pulsos de acondicionamiento : 5						
Forma de Onda	: SINUSOIDAL	Carga de Contacto	: 220 (N)					
Ancho de Pulso de Carga	: 100 (ms)	Carga Ciclica	: 1980 (N)					
Periodo de Reposo	: 900 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado	: 0.35					
Periodo de repetición de pulso	: 1000 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C	: 4 horas					
Resultados								
Pulsos de acondicionamiento : 5								
Temperatura del Núcleo : 19.9 (°C)								
Temperatura de la Superficie : 20.2 (°C)								
Propiedades								
	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5	Media	Desv. Estándar	% CV
Módulo Resiliente Total (Mpa)	3990	3937	3908	3871	3852	3911	55.04	1.41
Módulo Resiliente Instantaneo (Mpa)	5145	5144	5081	5048	4968	5077	73.80	1.45
Fuerza de Carga Pico (N)	1991	1974	1974	1959	1942	1968	18.69	0.95
Fuerza de Asentamiento	230	227	221	214	210	221	8.58	3.89
Deformación Recuperable Total	3.69	3.67	3.70	3.65	3.61	3.67	0.04	0.96
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	1.70	1.65	1.69	1.71	1.67	1.68	0.03	1.53
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	1.99	2.03	2.00	1.94	1.94	1.98	0.04	1.99
Deformación Recuperable Instantanea #1 (µm)	2.87	2.81	2.84	2.80	2.80	2.82	0.03	1.02
Deformación Recuperable Instantanea #2 (µm)	1.36	1.34	1.31	1.27	1.30	1.32	0.03	2.65
Deformación Recuperable Instantanea #2 (µm)	1.51	1.47	1.53	1.52	1.50	1.50	0.02	1.48

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 85

Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 2 – ESPECIMEN 1

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Giratorio	
Cantera	: Intrein	Especimen :	I
Asfalto	: 5.5 (%)	Área Transversal :	7854 mm ²
Diametro	: 100.0 mm		
Espesor	: 60.0 mm		
Temperatura de Ensayo	: 20 (°C)	Pulsos de acondicionamiento :	5
Forma de Onda	: SINUSOIDAL	Carga de Contacto :	300 (N)
Ancho de Pulso de Carga	: 100 (ms)	Carga Ciclica :	2720 (N)
Periodo de Reposo	: 900 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado :	0.35
Periodo de repetición de pulso	: 1000 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C :	4 horas
Resultados			
Pulsos de acondicionamiento : 5			
Temperatura del Núcleo : 20.0 (°C)			
Temperatura de la Superficie : 20.3 (°C)			
		Propiedades	
		Pulso 1	Pulso 2
		Pulso 3	Pulso 4
		Pulso 5	Media
		Desv. Estándar	% CV
Módulo Resiliente Total (Mpa)		5381	5323
Módulo Resiliente Instantaneo (Mpa)		6993	6854
Fuerza de Carga Pico (N)		2776	2711
Fuerza de Asemtamiento		319	298
Deformación Recuperable Total		5.32	5.10
Deformación Recuperable Total #1 (µm)		2.48	2.29
Deformación Recuperable Total #2 (µm)		2.85	2.78
Deformación Recuperable Instantanea		4.10	3.96
Deformación Recuperable Instantanea #1 (µm)		1.84	1.88
Deformación Recuperable Instantanea #2 (µm)		2.25	2.07
		5296	5256
		6869	6802
		2703	2671
		297	297
		5.11	5.01
		2.29	2.28
		5.16	2.74
		3.94	3.87
		1.86	1.78
		2.08	2.09
		49.51	0.93
		75.15	1.09
		47.91	1.76
		10.63	3.48
		0.15	2.86
		0.11	4.46
		1.05	32.18
		0.11	2.74
		0.05	2.87
		0.08	3.79

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 86

Módulo resiliente en mezcla asfáltica convencional 2 – ESPECIMEN 2

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Giratorio						
Cantera	: Intrein	Especimen :	2					
Asfalto	: 5.5 (%)	Area Transversal :	7854 mm ²					
Diámetro	: 100.0 mm							
Espesor	: 60.3 mm							
Temperatura de Ensayo : 20 (°C)		Pulsos de acondicionamiento : 5						
Forma de Onda	: SINUSOIDAL	Carga de Contacto :	399 (N)					
Ancho de Pulso de Carga	: 100 (ms)	Carga Ciclica :	2660 (N)					
Periodo de Reposo	: 900 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado :	0.35					
Periodo de repetición de pulso	: 1000 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C :	4 horas					
Resultados								
Pulsos de acondicionamiento : 5								
Temperatura del Núcleo : 19.9 (°C)								
Temperatura de la Superficie : 20.3 (°C)								
Propiedades								
	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5	Media	Desv. Estándar	% CV
Módulo Resiliente Total (Mpa)	5314	5307	5268	5290	5277	5291	19.29	0.36
Módulo Resiliente Instantáneo (Mpa)	6851	6935	6850	6899	6807	6868	49.46	0.72
Fuerza de Carga Pico (N)	2652	2661	2661	2677	2660	2662	9.02	0.34
Fuerza de Asentamiento	307	306	298	292	288	298	8.38	2.81
Deformación Recuperable Total	4.92	4.95	4.98	4.99	4.95	4.96	0.03	0.59
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	2.26	2.22	2.28	2.34	2.29	2.28	0.04	1.93
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.65	2.73	2.69	2.65	2.66	2.68	0.04	1.37
Deformación Recuperable Instantánea	3.82	3.79	3.83	3.83	3.84	3.82	0.02	0.55
Deformación Recuperable Instantánea #1 (µm)	1.81	1.80	1.77	1.73	1.78	1.78	0.03	1.70
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	2.01	1.98	2.06	2.09	2.05	2.04	0.04	2.20

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 87

Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 1 – ESPECIMEN 1

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Marshall	
Cantera	: Intrein	Especimen	: 1
Asfalto	: 5.8 (%)	Area Transversal	: 7854 mm ²
Diámetro	: 100.0 mm		
Espesor	: 60.4 mm		
Temperatura de Ensayo		Pulsos de acondicionamiento : 5	
Forma de Onda	: 20 (°C)	Carga de Contacto	: 330 (N)
Ancho de Pulso de Carga	: SINUSOIDAL	Carga Cíclica	: 2975 (N)
Periodo de Reposo	: 100 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado	: 0.35
Periodo de repetición de pulso	: 900 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C	: 4 horas
	: 1000 (ms)		
Resultados			
Pulsos de acondicionamiento		: 5	
Temperatura del Núcleo		: 20.1 (°C)	
Temperatura de la Superficie		: 20.3 (°C)	

Propiedades	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5	Media	Desv. Estándar	% CV
Módulo Resiliente Total (Mpa)	4548	4519	4496	4465	4444	4496	41.23	0.92
Módulo Resiliente Instantáneo (Mpa)	5672	5680	5642	5607	5627	5642	30.24	0.54
Fuerza de Carga Pico (N)	2990	2976	2972	2971	2991	2976	9.86	0.33
Fuerza de Asestamiento	330	329	330	333	337	330	3.24	0.98
Deformación Recuperable Total	6.40	6.39	6.41	6.45	6.58	6.41	0.08	1.19
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	3.42	3.42	3.44	3.47	3.53	3.44	0.05	1.37
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.97	2.98	2.96	2.97	3.06	2.97	0.04	1.28
Deformación Recuperable Instantánea #1 (µm)	5.13	5.08	5.11	5.13	5.20	5.13	0.04	0.84
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	2.78	2.74	2.76	2.77	2.81	2.77	0.03	0.95
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	2.35	2.34	2.35	2.36	2.39	2.35	0.02	0.79

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 88

Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 1 – ESPECIMEN 2

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Marshall	
Cantera	: Intrein	Especimen	: 2
Asfalto	: 5.8 (%)	Area Transversal	: 7854 mm ²
Diámetro	: 100 mm		
Espesor	: 60.5 mm		
Temperatura de Ensayo		Pulsos de acondicionamiento : 5	
Forma de Onda	: 20 (°C)	Carga de Contacto	: 363 (N)
Ancho de Pulso de Carga	: SINUSOIDAL	Carga Cíclica	: 3267 (N)
Periodo de Reposo	: 100 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado	: 0.35
Periodo de repetición de pulso	: 900 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C	: 4 horas
	: 1000 (ms)		
Resultados			
Pulsos de acondicionamiento : 5			
Temperatura del Núcleo : 20.2 (°C)			
Temperatura de la Superficie : 20.5 (°C)			

Propiedades	Pulsos					Media	Desv. Estándar	% CV
	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5			
Módulo Resiliente Total (Mpra)	4554	4501	4465	4427	4393	4465	62.98	1.41
Módulo Resiliente Instantáneo (Mpra)	5680	5658	5604	5559	5563	5604	54.85	0.98
Fuerza de Carga Pico (N)	2994	2965	2952	2945	2956	2956	19.33	0.65
Fuerza de Asentamiento	331	327	328	330	333	330	2.28	0.69
Deformación Recuperable Total	6.41	6.37	6.36	6.39	6.50	6.39	0.06	0.88
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	3.42	3.41	3.42	3.44	3.49	3.42	0.03	0.96
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.98	2.96	2.94	2.95	3.02	2.96	0.03	1.05
Deformación Recuperable Instantánea #1 (µm)	5.14	5.06	5.07	5.09	5.14	5.09	0.04	0.72
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	2.79	2.73	2.74	2.75	2.78	2.75	0.03	0.92
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	2.55	2.33	2.33	2.34	2.36	2.34	0.01	0.53

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 89

Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 2 – ESPECIMEN 1

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Giratorio	
Cantera	: Intrein	Especimen	: 1
Asfalto	: 5.5 (%)	Area Transversal	: 7854 mm ²
Diámetro	: 100.0 mm		
Espesor	: 59.9 mm		
Temperatura de Ensayo	: 20 (°C)	Pulsos de acondicionamiento	: 5
Forma de Onda	: SINUSOIDAL	Carga de Contacto	: 326 (N)
Ancho de Pulso de Carga	: 100 (ms)	Carga Cíclica	: 2934 (N)
Periodo de Reposo	: 900 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado	: 0.35
Periodo de repetición de pulso	: 1000 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C	: 4 horas
Resultados			
Pulsos de acondicionamiento	: 5		
Temperatura del Núcleo	: 20.1 (°C)		
Temperatura de la Superficie	: 20.4 (°C)		

	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5	Media	Desv. Estándar	% CV
Propiedades								
Módulo Resiliente Total (Mpa)	5636	5618	5746	5720	5761	5696	64.99	1.14
Módulo Resiliente Instantáneo (Mpa)	7325	7276	7398	7419	7455	7375	72.72	0.99
Fuerza de Carga Pico (N)	2908	2915	2927	2920	2927	2919	8.14	0.28
Fuerza de Asestamiento	334	329	322	321	326	326	5.56	1.70
Deformación Recuperable Total	5.58	5.60	5.50	5.52	5.49	5.54	0.05	0.88
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	2.60	2.61	2.50	2.47	2.49	2.54	0.06	2.54
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.98	2.99	3.00	3.05	3.00	3.00	1.15	32.85
Deformación Recuperable Instantánea #1 (µm)	4.29	4.33	4.28	4.25	4.24	4.28	0.03	0.79
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	1.93	2.02	2.03	2.01	1.95	1.99	0.04	2.23
Deformación Recuperable Instantánea #2 (µm)	2.35	2.31	2.23	2.24	2.29	2.29	0.05	2.13

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 90

Módulo resiliente en mezcla asfáltica modificada 2 – ESPECIMEN 2

Información de Ensayo		Metodo de Compactación : Compac. Giratorio	
Cantera	: Intreïn	Espeçimen :	2
Asfalto	: 5.5 (%)	Area Transversal :	7854 mm ²
Diámetro	: 100.0 mm		
Espesor	: 60.1 mm		
Temperatura de Ensayo	: 20 (°C)	Pulsos de acondicionamiento :	5
Forma de Onda	: SENUSOIDAL	Carga de Contacto :	315 (N)
Ancho de Pulso de Carga	: 100 (ms)	Carga Ciclica :	2835 (N)
Periodo de Reposo	: 900 (ms)	Coefficiente de Poisson Estimado :	0.35
Periodo de repetición de pulso	: 1000 (ms)	Tiempo de acondicionamiento a 20°C :	4 horas
Resultados			
Pulsos de acondicionamiento :	5		
Temperatura del Nucleo :	19.8 (°C)		
Temperatura de la Superficie :	20.2 (°C)		

	Pulso 1	Pulso 2	Pulso 3	Pulso 4	Pulso 5	Media	Desv. Estándar	% CV
Propiedades								
Módulo Resiliente Total (Mpa)	5016	5598	5568	5585	5600	5593	17.86	0.32
Módulo Resiliente Instantaneo (Mpa)	7241	7314	7240	7284	7223	7260	37.79	0.52
Fuerza de Carga Pico (N)	2803	2807	2812	2826	2823	2814	10.14	0.36
Fuerza de Aseñamiento	324	323	315	309	305	315	8.39	2.66
Deformación Recuperable Total	5.20	5.22	5.27	5.27	5.25	5.24	0.03	0.57
Deformación Recuperable Total #1 (µm)	2.39	2.34	2.41	2.47	2.43	2.41	0.05	2.00
Deformación Recuperable Total #2 (µm)	2.80	2.88	2.84	2.79	2.82	2.83	0.04	1.27
Deformación Recuperable Instantanea	4.03	3.99	4.05	4.04	4.07	4.04	0.03	0.73
Deformación Recuperable Instantanea #1 (µm)	1.91	1.90	1.87	1.85	1.89	1.88	0.03	1.71
Deformación Recuperable Instantanea #2 (µm)	2.12	2.09	2.18	2.21	2.18	2.16	0.05	2.28

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

5.2.7 Estabilidad y Flujo

Los procedimientos descritos líneas arriba, nos permiten llegar a esta parte de la investigación para tratar el tema principal que nos compete, el cual es determinar (la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo para validar su exigencia en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros.

La prueba de estabilidad y flujo Marshall es esencial para evaluar la idoneidad de una mezcla asfáltica en la construcción de pavimentos. Los valores obtenidos en esta prueba nos indicarán en el caso de la estabilidad, la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas de tránsito, mientras que el flujo nos indicará la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir el asentamiento gradual y la deformación, sin agrietarse.

A continuación, se muestran los valores obtenidos de esta relación de las pruebas realizadas en laboratorio.

A continuación, se detallan los resultados en la Figura 91 y Figura 92, para las mezclas convencionales 1 y 2, respectivamente. Para las mezclas modificadas se detallan en la Figura 93 y Figura 94, para la modifica 1 y 2, respectivamente.

Figura 91

Relación Estabilidad Flujo Mezcla Convencional 1

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.6	5.8	6.0
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.367	2.371	2.373
VACIOS (%)	4.5	4.0	3.6
V.M.A. (%)	17.1	17.1	17.2
V.F.A. (%)	73.7	76.4	78.8
FLUJO (0,25 mm)	13.5	13.7	14.0
ESTABILIDAD (kg)	1310	1312	1302
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	3834	3764	3673
RELACIÓN POLVO/ASFALTO	1.2	1.1	1.1

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 92

Relación Estabilidad Flujo Mezcla Convencional 2

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.3	5.5	5.7
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.390	2.397	2.402
VACIOS (%)	4.6	4.1	3.5
V.M.A. (%)	16.2	16.1	16.1
V.F.A. (%)	71.5	74.8	77.9
FLUJO (0,25 mm)	13.0	13.3	13.6
ESTABILIDAD (kg)	1449	1488	1516
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	4403	4414	4398
RELACIÓN POLVO/ASFALTO	1.0	1.0	1.0

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 93

Relación Estabilidad Flujo Mezcla Modificada 1

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.6	5.8	6.0
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.367	2.372	2.374
VACIOS (%)	4.6	4.1	3.7
V.M.A. (%)	17.2	17.2	17.3
V.F.A. (%)	73.3	76.1	78.5
FLUJO (0,25 mm)	13.8	14.0	14.1
ESTABILIDAD (kg)	1399	1400	1389
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	3996	3941	3870
RELACIÓN POLVO/ASFALTO	1.2	1.1	1.1

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Figura 94

Relación Estabilidad Flujo Mezcla Modificada 2

Nº DE GOLPES		75	
CEMENTO ASFALTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	5.3	5.5	5.7
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.390	2.396	2.401
VACIOS (%)	4.6	4.1	3.5
V.M.A. (%)	16.2	16.1	16.1
V.F.A. (%)	71.5	74.8	77.9
FLUJO (0,25 mm)	13.0	13.4	13.7
ESTABILIDAD (kg)	1660	1707	1742
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO	5029	5021	4988
RELACIÓN POLVO/ASFALTO	1.0	1.0	1.0

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

5.3 Análisis de los Resultados Obtenidos

Análisis de los ensayos de agregados gruesos detallados a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8

Ensayos de agregados gruesos 3/4 “

Ensayos	Norma	Resultados	Requerimiento
			Altitud (m.s.n.m.)
			< 3.000
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	5.06%	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	14.10%	40% máx.
Adherencia	MTC E 517	95%	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	63%	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	0%	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	100%	85/50.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.01706%	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	0.70%	1.0% máx.

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

A partir de los datos presentados en la tabla 55, se puede concluir que los ensayos efectuados en los agregados gruesos, necesarios para el apropiado diseño de una mezcla asfáltica en caliente, satisfacen los estándares establecidos cuando se trabaja a altitudes inferiores a 3000 metros sobre el nivel del mar.

En la Tabla 9 se aprecia el contraste entre los resultados obtenidos y los requerimientos para agregados gruesos.

Tabla 9

Ensayos de agregados gruesos 1/2 “

Ensayos	Norma	Resultados	Requerimiento
			Altitud (m.s.n.m.)
			< 3.000

Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	5.85%	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	22.00%	40% máx.
Adherencia	MTC E 517	95%	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	64%	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	0%	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	100%	85/50.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.01836%	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1.00%	1.0% máx.

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

A partir de la información proporcionada en la tabla 56, se evidencia que los ensayos efectuados en los agregados gruesos, necesarios para el adecuado diseño de una mezcla asfáltica en caliente, satisfacen los estándares establecidos cuando se trabaja a altitudes inferiores a 3000 metros sobre el nivel del mar.

En la Tabla 10 se aprecia el contraste entre los resultados obtenidos y los requerimientos para agregados finos.

Tabla 10

Ensayos de agregados finos

Ensayos	Norma	Resultados	Requerimiento
			Altitud (m.s.n.m.)
Equivalente de Arena	MTC E 114	71%	< 3.000 60% min
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	42.40%	30% min
Azul de metileno	AASTHO TP 57	7%	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40) y (malla N° 200)	MTC E 111	NP	NP

Índice de Durabilidad	MTC E 214	52%	35 mín.
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	6.23%	-
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.032%	0.5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0.50%	0.5% máx.

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Análisis de los ensayos de susceptibilidad a la humedad. Resultados detallados en la Tabla 11 para la mezcla convencional 1, y en la Tabla 12 para la mezcla convencional 2.

Tabla 11

Mezcla asfáltica convencional 1.

	Mezclas asfálticas convencional 1					
	Condición Seca			Condición húmeda		
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2009	1971	1933	1638	1610	1657
STD Y STM	131.0	128.7	126.2	106.6	104.8	107.7
Promedio	128.6			106.4		
TSR%	82.7%					

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Se logró obtener un valor de 82.7 % como valor del TSR% para la muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Tabla 12

Mezcla asfáltica convencional 2.

	Mezclas asfálticas convencional 2					
	Condición Seca			Condición húmeda		
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2646	2579	2484	2313	2294	2332
STD Y STM	172.5	168.5	162.2	150.5	149.3	151.6
Promedio	167.7			150.5		
TSR%	89.7%					

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Se logró obtener un valor de 89.7 % como valor del TSR% para la muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

En la Tabla 13 y Tabla 14 se detalla los resultados obtenidos de este ensayo para la mezcla modificada 1 y mezcla modificada 2 respectivamente.

Tabla 13

Mezcla asfáltica modificada 1.

Mezclas asfálticas modificada 1						
	Condición Seca			Condición húmeda		
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2256	2180	2104	1961	1933	1733
STD Y STM	147.1	142.4	137.4	127.6	125.8	112.7
Promedio	142.3			122.0		
TSR%	85.8%					

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Tabla 14

Mezcla asfáltica modificada 2.

Mezclas asfálticas modificada 2						
	Condición Seca			Condición húmeda		
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2684	2589	2494	2541	2351	2256
STD Y STM	175.0	169.1	162.9	165.4	153.0	146.7
Promedio	169.0			155.0		
TSR%	91.7%					

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

Se logró obtener un valor de 89.7 % como valor del TSR% para la muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Análisis de los ensayos de deformación permanente

Resultados detallados en la Tabla 15 para la mezcla convencional 1, y en la Tabla 16 para la mezcla convencional 2.

Tabla 15

Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla convencional 1.

Mezcla asfáltica convencional 1	
Ahuellamiento Alcanzado:	12.49 mm

Temperatura Media:	49.8 °C
Pasadas Alcanzadas:	11930

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica convencional 1 se logró obtener un valor de ahuellamiento de 12.49 mm a las 11930 pasadas.

Tabla 16

Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla convencional 2.

Mezcla asfáltica convencional 2	
Ahuellamiento Alcanzado:	4.50 mm
Temperatura Media:	49.9 °C
Pasadas Alcanzadas:	20000

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica convencional 2 se logró obtener un valor de ahuellamiento de 4.50 mm a las 20000 pasadas.

En la Tabla 17 y Tabla 18 se detalla los resultados obtenidos de este ensayo para la mezcla modificada 1 y mezcla modificada 2 respectivamente.

Tabla 17

Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla modificada 1.

Mezcla asfáltica modificada 1	
Ahuellamiento Alcanzado:	13.20 mm
Temperatura Media:	49.7 °C
Pasadas Alcanzadas:	17215

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica modificada 1 se logró obtener un valor de ahuellamiento de 13.20 mm a las 17215 pasadas.

Tabla 18

Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla modificada 2.

Mezcla asfáltica modificada 2	
Ahuellamiento Alcanzado:	2.48 mm
Temperatura Media:	49.5 °C
Pasadas Alcanzadas:	20000

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica modificada 2 se logró obtener un valor de ahuellamiento de 2.48 mm a las 20000 pasadas.

Análisis de los ensayos de módulo resiliente

Resultados detallados en la Tabla 19 para la mezcla convencional 1, y en la Tabla 20 para la mezcla convencional 2.

Tabla 19

Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica convencional 1.

Mezcla asfáltica convencional 1	CV%
Módulo Resiliente Total:	1.29

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica convencional 1 se obtuvo un valor de 1.29%

Tabla 20

Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica convencional 2.

Mezcla asfáltica convencional 2	CV%
Módulo Resiliente Total:	0.93

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica convencional 1 se obtuvo un valor de 0.93%

En la Tabla 21 y Tabla 22 se detalla los resultados obtenidos de este ensayo para la mezcla modificada 1 y mezcla modificada 2 respectivamente.

Tabla 21

Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica modificada 1.

Mezcla asfáltica modificada 1	CV%
Módulo Resiliente Total:	0.92

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica convencional 1 se obtuvo un valor de 0.92%

Tabla 22

Resumen de ensayo de módulo resiliente mezcla asfáltica modificada 2.

Mezcla asfáltica modificada 2	CV%
Módulo Resiliente Total:	1.14

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

En la muestra asfáltica convencional 1 se obtuvo un valor de 0.92

A continuación, tal como sea muestra en la Tabla 23, se realizó un resumen de los resultados de las pruebas realizadas a las mezclas convencionales 1 y 2, y de la misma manera para las modificadas 1 y 2.

Tabla 23*Resumen de Análisis de resultados*

Mezcla Asfáltica	Relación Estabilidad- Flujo	EG-2013 (1,700-4,000) kg/cm	Ensayo Rueda Cargada	Ensayo de Módulo Resiliente	Ensayo de Lottman
Convencional 1	CA 5.5 % =3,764 kg/cm	Cumple	Ahuellamiento:12.49 mm Pasadas: 11,930	CV: 1.29 %	TSR: 82.7 %
Convencional 2	CA 5.5 % = 4,414 kg/cm	No cumple	Ahuellamiento: 4.5 mm Pasadas: 20,000	CV: 0.93 %	TSR: 89.7 %
Modificada 1	CA 5.5 % = 3,941 kg/cm	Cumple	Ahuellamiento: 13.20 mm Pasadas: 17,215	CV: 0.92 %	TSR: 85.8 %
Modificada 2	CA 5.5 % = 5,021 kg/cm	No Cumple	Ahuellamiento: 2.48 mm Pasadas: 20,000	CV: 1.14 %	TSR: 91.7 %

Nota. Extraído de los resultados del laboratorio.

De los resultados obtenidos, se puede evidenciar que las mezclas Convencional 2 y Modificada 2, presentan una mejor performance en cuanto a los resultados obtenidos de las pruebas a las que fueron sometidas; con relación a las mezclas Convencional 1 y Modificada 1, se comprueba que no cumplen la prueba de Rueda Cargada de Hamburgo.

5.4 Contrastación de Hipótesis

Hipótesis Específica 1:

Hipótesis Alternativa (Hi1): Mediante las pruebas de desempeño se demuestra que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales.

Hipótesis Nula (H01): Mediante las pruebas de desempeño no se demuestra que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales.

Los diseños de mezclas realizados en la presente investigación fueron sometidos a las pruebas de desempeño de Rueda de Hamburgo y Módulo Resiliente, además del ensayo de Lottman, en las que, para el caso de la mezcla convencional 2, la cual excede el rango de la relación Estabilidad-Flujo, obtuvo resultados óptimos en todas las pruebas.

Mucha (2022), su tesis analiza la relación de resultados de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando los ensayos de compresión diametral Marshall y tracción indirecta Lottman, en los ensayos realizados se puede apreciar como la relación estabilidad flujo fluctúa en base a la cantidad del porcentaje de asfalto utilizado en el diseño de la mezcla.

Morea (2011), analizó la deformación permanente en mezclas asfálticas tomando como punto de referencia la relación con el desempeño de las mezclas asfálticas a partir de ensayos de rueda cargada.

Por lo tanto, se demuestra en las pruebas de desempeño realizadas a las mezclas asfálticas convencionales, que para el caso en el que el valor de la relación Estabilidad-Flujo no se encuentra dentro del rango establecido según la Norma de Carreteras EG-2013, se obtienen resultados óptimos en las pruebas de desempeño realizadas. Por lo tanto, Hi1 es válida.

Hipótesis Específica 2:

Hipótesis Alternativa (Hi2): Mediante las pruebas de desempeño se demuestra que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

Hipótesis Nula (H02): Mediante las pruebas de desempeño no se demuestra que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en

el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

Los diseños de mezclas realizados en la presente investigación fueron sometidos a las pruebas de desempeño de Rueda de Hamburgo y Módulo Resiliente, además del ensayo de Lottman, en las que, para el caso de la mezcla modificada 2, la cual excede el rango de la relación Estabilidad-Flujo, obtuvo resultados óptimos en todas las pruebas.

Borja & Cardenas (2019) en su investigación 'Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS', luego de someter las mezclas a pruebas desempeño, concluyeron que el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímero SBS ha tenido mejoras significativas en comparación con las mezclas convencionales.

Villafana & Ramirez (2019) su tesis se enfoca en el análisis de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con el polímero SBS. Parte de la investigación estudia la relevancia de la estabilidad y flujo en dichas mezclas, y se determina que, a diferencia del convencional, el modificado mejora las propiedades, obteniendo una mayor estabilidad y fluencia.

Por lo tanto, se demuestra en las pruebas de desempeño realizadas a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, que para el caso en el que el valor de la relación Estabilidad-Flujo no se encuentra dentro del rango establecido según la Norma de Carreteras EG-2013, se obtienen resultados óptimos en las pruebas de desempeño realizadas. Por lo tanto, Hi2 es válida.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados de esta investigación se llega a la conclusión que es relevante la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros, pero no es relevante que ésta se encuentre dentro del rango exigido por el Manual de Carreteras EG-2013, pues se comprobó, que encontrándose el valor de la relación Estabilidad-Flujo para una muestra de la mezcla asfáltica convencional y una muestra de la mezcla asfáltica modificada con polímeros, dentro del rango establecido por la Norma EG-2013, no cumplieron con uno de los ensayos de desempeño, mientras que, encontrándose el valor del rango de la relación Estabilidad-Flujo para una muestra de la mezcla convencional y una muestra de la mezcla modificada con polímeros, fuera del rango establecido por la norma EG-2013, cumplieron con los ensayos de desempeño, se confirma que el rango de la relación Estabilidad-Flujo para validar mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con polímeros es irrelevante.
2. Basándonos en que los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño y del diseño de la mezcla para el caso de la mezcla asfáltica convencional 2, cumplen con los requerimientos exigidos en las normativas y manuales de pavimentos, aun cuando los valores obtenidos de la relación Estabilidad –Flujo para la mezclas asfálticas convencionales no se encuentran comprendidos en el rango exigido en el Manual de Carreteras EG-2013 de entre 1,700 Kg/cm y 4,000 Kg/cm, y los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño para la mezcla asfáltica convencional 1, no cumplen con el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo , aun cuando los valores obtenidos de la relación Estabilidad –Flujo para la mezclas asfálticas convencionales se encuentran comprendidos en el rango exigido en el Manual de Carreteras EG-2013, se concluye que el rango de la relación Estabilidad-Flujo para validar mezclas asfálticas convencionales es irrelevante.
3. Basándonos en que los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño y del diseño de la mezcla para el caso de la mezcla asfáltica modificada 2, cumplen con los requerimientos exigidos en las normativas y manuales de pavimentos, aun cuando los valores obtenidos de la relación Estabilidad –Flujo para la mezclas asfálticas modificadas no se encuentran comprendidos en el rango exigido en el Manual de

Carreteras EG-2013 de entre 1,700 Kg/cm y 4,000 Kg/cm, y los resultados obtenidos de los ensayos de desempeño para la mezcla asfáltica modificada 1, no cumplen con el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo, aun cuando los valores obtenidos de la relación Estabilidad –Flujo para la mezclas asfálticas modificadas se encuentran comprendidos en el rango exigido en el Manual de Carreteras EG-2013, se concluye que el rango de la relación Estabilidad-Flujo para validar mezclas asfálticas modificadas es irrelevante.

RECOMENDACIONES

1. En vista de los resultados obtenidos en esta investigación, se sugiere al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, entidad responsable de la normativa técnica vial peruana en lo que corresponde al Manual de Carreteras referido a las especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013, evalúe realizar un análisis de la necesidad de considerar como una exigencia el rango de la relación Estabilidad-Flujo de tal manera que los resultados que se obtengan de ésta, representen objetivamente el comportamiento de una mezcla asfáltica en relación a su resistencia y deformación, y no sea una limitante para el diseño de mezclas.

REFERENCIAS

- Acosta, M. M., & Herrera, L. J. (2016). “*Uso de polímeros tipo III para mejorar la durabilidad y el comportamiento de las mezclas asfálticas (MDC-19) empleadas en zonas cálidas*”
- Aguilar, J. P., Cruz, L. M., Porras, A., Vargas, A. y Loria, L. G. (2015). Proyecto “*Materiales de Desecho como Modificantes de la Mezcla Asfáltica*”, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.
- Bonilla Miranda, E. (2013). “*Determinación del tipo de cemento asfáltico según el grado de desempeño, de acuerdo con la zonificación climática y las cargas de tránsito del país*”, Universidad de Costa Rica, San José – Costa Rica.
- Estrada Escalante, V. (2017). “*Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70 -28*”, Universidad Andina del Cusco, Cusco – Perú.
- Fallis, A.(2006). “*El Proyecto De Investigación Introducción a la Investigación Científica*”. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9). Caracas, Venezuela: Editorial Espisteme.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2010). “*Metodología de Investigación*”, México DF, México: Mc Graw – Hill. INVE (2000).
- Institute Asphalt. (1982). “*Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. EEUU: Administración Federal de Autopistas*”
- Lanamme UCR, (Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA), (2017). “*Daño Por Humedad En Mezclas Asfálticas*”. 1–135. San José, Costa Rica.
- Leiva-Villacorta, F., & Vargas-Nordbeck, A. (2017). “*Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP)*”. Infraestructura Vial.
- Loayza León, O., Rodríguez Castro, E., & Salazar Delgado, J. (2018). “*Comparación de los métodos de contenido de asfalto de mezcla asfáltica en caliente*”. Métodos y Materiales.
- Loria Salazar, L. G. y Leiva Padilla, P. (2013). “*Reciclaje en Pavimentos: Influencia en los métodos de extracción en las propiedades del agregado*” (Trabajo de Investigación).

- Mamani Mamani, L. (2018). *“Incidencias de la adición de Zeolita natural a la mezcla asfáltica en su comportamiento mecánico”*, Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú.
- Mendez, J. R. (2012). *“Ingeniería de Pavimentos”*. Lima - Peru: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Miranda-Argüello, F., Aguiar-Moya, J.P., Loría Salazar, G. y Arriola Guzmán, R. (2018). *“Pavimento Asfáltico Reciclado. Mezclas Asfálticas Con Rap”*: Pavimentos Asfálticos Reciclados. Universidad de Costa Rica, San José: Costa Rica.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *“Ingeniería de pavimentos en Carreteras”*. Bogotá, Colombia: Ágora Editores.
- Moreno, M. A. (2011), Tesis de Ingeniería Civil *“Efecto de la Presencia de Humedad en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas sometidas a Ensayos de Rueda de Carga”* (Norma NLT-173/84)” en la Universidad de Chile, Santiago de Chile – Chile.
- Padilla Rodríguez, A. (2005). *“Capítulo III: Mezclas Asfálticas”*.
- Rengifo Gonzales- Vargas Villaca (2017). *“Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1- 29 de la avenida la paz, San miguel – Lima.”*, Universidad San Martín de Porres, Lima - Perú.
- Silvestre, D. F. (2017). *“Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017”*.
- Balbin, M. L., & Enriquez, R. F. (2020). *“INFLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS EN ZONAS CÁLIDAS DE PERÚ”*.

ANEXOS

Anexo A:

Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	INDICE	METODOLOGÍA
¿Es relevante el rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros SBS, establecido en la normativa del Manual de Carreteras EG-2013?	Establecer el criterio de relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas, para obviar su exigencia en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros, aplicando el método de Marshall, año 2023.	Estableciendo la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas, mediante pruebas de desempeño, se podrá obviar su uso en el diseño de mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas modificadas con polímeros, año 2023.	Rango de la Relación Estabilidad-Flujo	Ensayo Marshall	Estabilidad y Fluencia	Tipología: Método : Deductivo Orientación: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Tipo: Descriptivo Nivel: Descriptivo Explicativo Diseño: Experimental-Longitudinal y prospectivo
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE DEPENDIENTE			
¿De qué manera el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el método de Marshall, que establece la normativa del Manual de Carreteras EG-2013, influye en el diseño de mezclas asfálticas convencionales?	Determinar mediante el método de Marshall, la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas convencionales.	Mediante pruebas de desempeño se demostrará que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas convencionales.	Ensayos de desempeño y Lottman a mezclas asfálticas convencionales y modificadas con polímeros	Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo	Deformación permanente	
¿De qué manera el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el método de Marshall, que establece la normativa del Manual de Carreteras EG-2013, influye en el diseño de mezclas asfálticas modificadas?	Determinar mediante el método de Marshall, la relevancia del rango de la relación Estabilidad-Flujo en el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros.	Mediante pruebas de desempeño se demostrará que el rango de la relación Estabilidad-Flujo obtenido mediante el Método de Marshall, establecido en el Manual de Carreteras EG-2013, no es relevante para el diseño de mezclas asfálticas modificadas.		Ensayo de Módulo Resiliente	Resistencia a la tracción indirecta	
				Ensayo de Lottman	Resistencia a la incidencia a la humedad	

Anexo B:

Permiso de la empresa

CAH

CONTRATISTAS GENERALES S.A.

Lima, 20 de setiembre del 2023

A quien corresponda:

Por medio de la presente, autorizamos a los Sres. Freddy Martín Caycho Gamara y Bernardo Guillermo Del Río Fermor, la utilización de datos, pruebas y resultados de laboratorio, cuadros, fotografías, gráficos y figuras de nuestra empresa para la elaboración de su Tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma.

Atentamente,



Ing. Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Anexo C:

Determinación de partículas planas y alargadas de agregado 1/2"



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACIÓN, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMERO Y OBRAS EN GENERAL.

INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS ASTM D4791

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	1023.5	0.0	0.0	9.8	0.0
		Total			9.8	0.0
Partículas Planas y Alargadas					0.0	(%)

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo D:

Peso específico y absorción del agregado grueso de agregado 1/2"



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO ASTM C127

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cant. Intrein
MUESTRA : Piedra Chancada 1/2"

A	Peso de muestra Sat. Sumergido	2010.3	2013.8	
B	Peso de la muestra Sat. Sup. Seca	3190.3	3192.3	
C	Peso de la muestra Seca	3157.6	3160.3	Promedio
	Peso específico Sat. Suo. Seca (B/B-A)	2.704	2.709	2.706
	Peso específico de masa (C/B-A)	2.676	2.682	2.679
	Peso específico aparente (C/C-A)	2.752	2.756	2.754
	Absorción de agua ((B-C)/C)*100	1.0	1.0	1.0

Miguel Coila Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo E:

Sales solubles de agregado 1/2"



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO SALES SOLUBLES MCT E219

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamara, Freddy Martín y Del Río Fernor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz N°10	183.6	0.01836


Miquel Colla Durand
Tec. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo F:

Adherencia al agregado grueso de agregado 1/2".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO ADHERENCIA AL AGREGADO GRUESO MTC E517

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo G:

Índice de durabilidad de agregado 1/2".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD ASTM D3744

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamara, Freddy Martín y Del Río Fernor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio	Identificación			Promedio (%)
	1	2	3	
Procedimiento Tipo	B			
Volumen de la Muestra	cc	9000.0	9000.0	9000.0
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0
Altura de Arcilla	pułg	6.2	6.3	6.1
Altura de Arena	pułg	3.9	4.0	3.8
Índice de Durabilidad (Dc)	%	62.9	63.5	62.3
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21.0

Miguel Colla Durand
Téc. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo H:

Caras fracturadas de agregado 1/2".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO Y OBRAS EN GENERAL

INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS ASTM D5821

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	1023.5	0.0	0.0	9.8	0.0
Total					9.8	0.0

% Con una cara fracturada				0.0	(%)
---------------------------	--	--	--	-----	-----

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"	1023.5	0.0	0.0	9.8	0.0
Total					9.8	0.0

% Con 2 o mas caras fracturadas				0.0	(%)
---------------------------------	--	--	--	-----	-----

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo I:

Resistencia a la abrasión de agregado 1/2".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A LA ABRASIÓN ASTM C131

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Tamiz	Peso Retenido (g)
3"	
2 1/2"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	
1/4"	2500
Nº4	2500
Platillo	

Porcentaje de Desgaste

Tipo de graduación	C
Peso muestra al comenzar el ensayo (g)	5000
Peso material retenido en el tamiz Nº12 (g)	3899
Peso material que pasa el tamiz Nº12 (g)	1101
Porcentaje de desgaste (%)	22.0

Miguel Colia Durand
Téc. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo J:

Durabilidad con sulfato de magnesio de agregado 1/2".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO ASTM C88

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamara, Freddy Martín y Del Río Fernor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 1/2"

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones después del Ensayo	Pérdida en peso después del Ensayo	% Pérdida después del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"						
1/2"	3/8"	9.8	296.0	275.0	21.0	7.09	0.75
3/8"	Nº4	82.7	296.0	261.0	17.0	5.70	5.10
Totales		92.5					5.85

Miguel Coila Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo K:

Determinación de partículas planas y alargadas de agregado 3/4”.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACIÓN, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMERO Y OBRAS EN GENERAL

INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS ASTM D4791

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4”

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2”	1 1/2”					
1 1/2”	1”					
1”	3/4”					
3/4”	1/2”	2012.3	0.0	0.0	49.2	0.0
1/2”	3/8”	1014.0	0.0	0.0	42.6	0.0
Total					91.8	0.0
Partículas Planas y Alargadas					0.0	(%)

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo L:

Peso específico y absorción del agregado grueso.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO ASTM C127

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : Cant. Intrein
MUESTRA : Piedra Chancada 3/4"

A	Peso de muestra Sat. Sumergido	2010.3	2014.5	
B	Peso de la muestra Sat. Sup. Seca	3172.2	3175.9	
C	Peso de la muestra Seca	3151.9	3155.2	Promedio
	Peso específico Sat. Suo. Seca (B/B-A)	2.730	2.735	2.732
	Peso específico de masa (C/B-A)	2.713	2.717	2.715
	Peso específico aparente (C/C-A)	2.761	2.766	2.763
	Absorción de agua ((B-C)/C)*100	0.6	0.7	0.7

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo M:

Sales solubles de agregado 3/4".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO SALES SOLUBLES MCT E219

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz N°10	170.6	0.01706

Miguel Colla Durand
Téc. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo N:

Adherencia al agregado grueso de agregado 3/4".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO
ADHERENCIA AL AGREGADO GRUESO
MTC E517

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo O:

Durabilidad de agregado 3/4".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD ASTM D3744

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros

Ubicación : Lima

Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Ferrer Bernardo Guillermo

Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein

Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200	Tipo de Agua : Destilada	Solución : Stock - Cloruro de Calcio	Identificación			Promedio (%)
			1	2	3	
Procedimiento Tipo			B			
Volumen de la Muestra	cc		9000.0	9000.0	9000.0	
Tiempo de Lavado	min		2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min		10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min		20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg		6.2	6.4	6.2	
Altura de Arena	pulg		4.0	4.1	3.9	
Índice de Durabilidad (Dc)	%		64.5	64.0	63.5	64
Temperatura de la Solución	°C		21.0	21.0	21.0	

Miguel Colla Durand
Téc. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo P:

Determinación de caras fracturadas de agregado 3/4”.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO Y OBRAS EN GENERAL

INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS ASTM D5821

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4”

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2012.3	0.0	0.0	49.2	0.0
1/2"	3/8"	1014.0	0.0	0.0	42.6	0.0
Total					91.8	0.0

% Con una cara fracturada					0.0	(%)
---------------------------	--	--	--	--	-----	-----

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2012.3	0.0	0.0	49.2	0.0
1/2"	3/8"	1014.0	0.0	0.0	42.6	0.0
Total					91.8	0.0

% Con 2 o mas caras fracturadas					0.0	(%)
---------------------------------	--	--	--	--	-----	-----

Miguel Coila Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo Q:

Resistencia a la abrasión de agregado 3/4".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A LA ABRASIÓN ASTM C131

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Femor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Tamiz	Peso Retenido (g)
3"	
2 1/2"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	2500
3/8"	2500
1/4"	
Platillo	

Porcentaje de Desgaste

Tipo de graduación	B
Peso muestra al comenzar el ensayo (g)	5000
Peso material retenido en el tamiz N°12 (g)	4443
Peso material que pasa el tamiz N°12 (g)	703
Porcentaje de desgaste (%)	14.1


Miguel Colla Durand
Téc. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo R:

Durabilidad con sulfato de magnesio de agregado 3/4".



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO ASTM C88

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intreln
Muestra : Piedra Chancada 3/4"

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones después del Ensayo	Pérdida en peso después del Ensayo	% Pérdida después del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	49.2	673.0	654.0	19.0	2.82	1.39
1/2"	3/8"	42.6	298.0	275.0	23.0	7.72	3.29
3/8"	Nº4	8.2	297.0	283.0	14.0	4.71	0.39
Totales		100.0					5.06

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo S:

Equivalente de arena.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D2419

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamara, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Equivalente de Arena		
Lectura Inicial	5,3	5,4
Lectura Final	3,7	3,9
% de Finos	70	72
Promedio %	71	


Miguel Lora Lurano
Tec. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo T:

Angularidad del agregado fino.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO MCT E222

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamara, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Análisis de:	Angularidad %
Tipo de Muestra Arena Gruesa	42.4


Miguel Coila Durand
Tec. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo U:

Azul de metileno en agregados finos.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y LLENANTES MINERALES AASHTO TP 57

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Femor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

N	Ensayo	Resultado
1	Valor de azul de metileno (mg/g)	7
2	Valor de azul de metileno (mg/g)	6
	Valor de azul de metileno Promedio	7

Miguel Coila Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo V:

Límite plástico e índice de plasticidad.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM D4318

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Ferrer Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

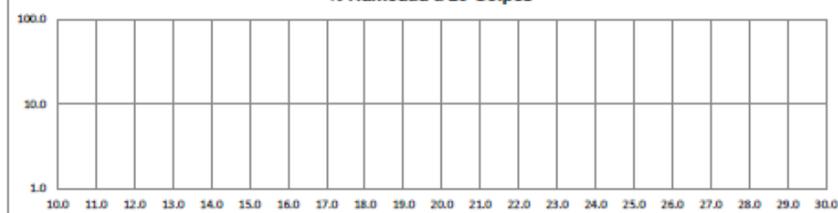
Límite Líquido

Nº Tarro					
Tarro + Suelo Humedo					
Tarro + Suelo Seco					
Agua					
Peso del Tarro			N-P		
Peso del Suelo Seco					
% de Humedad					
Nº de Golpes					

Límite Plástico

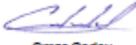
Nº Tarro					
Tarro + Suelo Humedo					
Tarro + Suelo Seco					
Agua					
Peso del Tarro			N-P		
Peso del Suelo Seco					
% de Humedad					

% Humedad a 25 Golpes



Constantes Físicas de la Muestra	
Límite Líquido	N.L
Límite Plástico	N.P
Índice de Plasticidad	N.P


Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo W:

Durabilidad con sulfato de magnesio.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO ASTM C88

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fernor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones después del Ensayo	Pérdida en peso después del Ensayo	% Pérdida después del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
1/2"	3/8"						
3/8"	Nº4	2.7	100	92.8	7.2	6.1	0.19
Nº4	Nº8	27.1	100	91.9	8.1	6.8	2.20
Nº8	Nº16	22.0	100	92.1	7.9	6.7	1.74
Nº16	Nº30	14.0	100	90.6	9.4	7.9	1.32
Nº30	Nº50	10.3	100	92.4	7.6	6.4	0.78
Nº50	Nº100	8.2	100	91.5	8.5	7.2	0.70
Nº100	Fondo						
Totales		84.3					6.23


Miguel Coita Durand
Tec. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo X:

Índice de durabilidad.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

31 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD ASTM D3744

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. Nº200 Tipo de Agua : Destilada Solución : Stock - Cloruro de Calcio		Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	85.0	85.0	85.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg	6.7	7.0	6.9	
Altura de Arena	pulg	3.4	3.6	3.6	
Índice de Durabilidad (Dr)	%	50.7	51.4	55.1	52
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21	


Miguel Coira Durand
Tec. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo Y:

Sales solubles.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO SALES SOLUBLES MCT E219

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Referencias de la Muestra

Identificación : Cant. Intreln
Muestra : Arena Chancada

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz N°10	328.6	0.03286


Miguel Coila Durand
Téc. de Laboratorio


Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo Z:

Peso específico y absorción del agregado fino.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

INFORME DE ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO ASTM C128

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martin y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

A	Peso Agregado en condición S.S.S.	500.0	500.0	
B	Peso del picnómetro + Agua en la marca de calibración.	680.1	682.3	
C	Peso del agua en la marca de calibración + Peso del picnómetro + Agregado SSS	995.2	996.8	
D	Volumen del agregado (B + A - C)	184.9	185.5	
E	Peso del Agregado Seco	497.3	497.8	Promedio
F	Peso Especifico de Masa Seca (E / D)	2.690	2.684	2.687
G	Peso Especifico de Masa S. S. S. (A / D)	2.704	2.695	2.700
H	Peso Especifico de Masa Aparente E / (B + E - C)	2.729	2.716	2.723
I	Absorción $((A - E) / E) * 100$	0.5	0.4	0.5

Miguel Coila Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023

Anexo AA:

Adherencia al agregado fino.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

51 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

INFORME DE ENSAYO ADHERENCIA AL AGREGADO FINO MTC E220

Proyecto : Relevancia de la relación estabilidad flujo en el diseño de mezclas asfálticas para validar mezclas convencionales y modificadas con polímeros
Ubicación : Lima
Solicitante : Caycho Gamarra, Freddy Martín y Del Río Fermor Bernardo Guillermo
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

Identificación : Cant. Intrein
Muestra : Arena Chancada

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E220	8

Miguel Colla Durand
Tec. de Laboratorio

Omar Godoy
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 08 de Agosto del 2023