

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON LA ADICIÓN DE
CEMENTO COMERCIAL COMO FILLER EN LA CIUDAD DEL
CUSCO 2023**

PRESENTADO POR:

Br. AMMISANDDAY RESEMBINK
MONTAÑEZ CASTRO

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

ASESOR:

Mgt. Ing. MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ

**CUSCO – PERÚ
2025**



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor MGT. ING. MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON LA ADICIÓN DE CEMENTO COMERCIAL
COMO FILLER EN LA CIUDAD DEL CUSCO 2023

Presentado por: AMMISANDAY RESEMBINK MONTAÑEZ CASTRO DNI N° 72354491 ;

presentado por: DNI N°:

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del *Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de ENERO de 2026

Firma

Post firma MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ

Nro. de DNI 46035754

ORCID del Asesor 0000-0002-3582-2907

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546245257

Ammisandday Montañez

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON LA ADICIÓN DE CE...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:546245257

243 páginas

Fecha de entrega
14 ene 2026, 3:11 p.m. GMT-5

66.976 palabras

356.077 caracteres

Fecha de descarga
14 ene 2026, 3:28 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON L....pdf

Tamaño del archivo
14.0 MB

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 13 palabras)

Fuentes principales

6%	 Fuentes de Internet
1%	 Publicaciones
7%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres, Julia y Víctor, por guiarme y acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

A mis hermanos, Victor Harold y Yungfeng Nehilot, por todo su apoyo constante e incondicional, haciendo posible este logro profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Julia y Víctor, que me brindan su apoyo incondicional para poder cumplir con mis metas personales y académicas. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y no abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

Le agradezco a mi asesor, Mgt. Ing. Mijail Elio Rozas Gómez, por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y aporte no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Asimismo, agradecer al Mgt. Ing. Fredy Pilco Bejar por dar facilidades en el uso de su laboratorio.

Agradecerles a todos mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Por último, agradecer a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido alcanzar un objetivo más de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO.....	iv
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I: GENERALIDADES	3
1.1. Justificación de la investigación	3
1.2. Planteamiento y formulación del problema de investigación.....	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas Específicos.....	5
1.3. Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4. Hipótesis	7
1.4.1. Hipótesis General	7
1.4.2. Hipótesis Específicos	7
1.5. Identificación de variables e indicadores.....	7
1.5.1. Variable Independiente	7
1.5.2. Variables Dependientes.....	7
1.5.3. Operacionalización de variables.....	7
Capítulo II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
2.1. Antecedentes del trabajo de investigación.....	9
2.1.1. A nivel internacional	9
2.1.2. A nivel nacional	10
2.1.3. A nivel regional.....	11
2.2. Base teórico y conceptual	13
2.2.1. Pavimento.....	13
2.2.2. Funciones de la estructura del pavimento	13
2.2.3. Clasificación de los pavimentos.....	13
2.2.3.1. Pavimentos flexibles.....	13
2.2.4. Funciones de las capas de un pavimento flexible.....	14
2.2.4.1. La subbase granular.....	14

2.2.4.2. La base granular	15
2.2.4.3. Carpeta.....	15
2.2.5. Mezclas asfálticas.....	15
2.2.5.1. Mezclas asfálticas calientes	16
2.2.5.1.1. Agregados pétreos	16
2.2.5.1.2. Filler	19
2.2.5.1.2.1 Influencia del filler en mezclas asfálticas.....	19
2.2.5.1.3. Materiales o ligantes asfálticos	20
2.2.5.1.3.1 Cemento Asfáltico.....	20
2.2.6. Diseño de mezclas asfálticas en caliente.....	23
2.2.6.1. Objeto	23
2.2.6.2. Finalidad y alcance	23
2.2.6.3. Referencias normativas	25
2.2.6.4. Equipos, materiales e insumos.....	25
2.2.6.4.1. Equipos para la preparación.....	25
2.2.6.4.2. Equipos para el ensayo de estabilidad y flujo.....	28
2.2.6.5. Procedimiento.....	30
2.2.6.5.1. Especímenes de Ensayo.....	30
2.2.6.6. Cálculos e informes	34
2.2.6.6.1. Cálculos	34
2.2.6.7. Informe	36
2.2.7. Propiedades físico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas en caliente.....	38
2.2.7.1. Estabilidad	38
2.2.7.2. Flujo.....	39
2.2.7.3. Parámetros volumétricos	39
2.2.7.3.1. Diagrama de fases.....	39
2.2.7.3.2. Parámetros volumétricos	40
2.2.7.3.2.1 Vacíos de aire	41
2.2.7.3.2.2 Vacíos en el agregado mineral	41
2.2.7.3.2.3 Vacíos llenos con asfalto.....	41
2.2.8. Resistencia a la tensión indirecta	41
2.2.9. Resistencia a la compresión e índice resistencia retenida	41
2.2.10. Módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente.....	42
2.2.10.1. Nomograma de Shell.....	42
2.2.10.2. Ecuaciones de Bonnaure	47
Capítulo III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	48
3.1. Ámbito geográfico.....	48

3.2.	Tipo de investigación.....	48
3.3.	Nivel de investigación	48
3.4.	Método de investigación.....	48
3.5.	Diseño de investigación.....	48
3.5.1.	Por el número de variables independientes o de estudio.....	48
3.5.2.	Por el método de investigación que emplea	49
3.5.3.	Por el enfoque teórico-metodológico	49
3.6.	Unidad de análisis.....	49
3.7.	Población de estudio.....	49
3.8.	Tamaño de muestra.....	49
3.9.	Tipo de muestreo	51
3.10.	Técnicas de recolección de información.....	51
3.10.1.	Técnicas	51
3.10.2.	Análisis documental.....	51
3.10.3.	Instrumento.	51
3.11.	Técnicas de análisis e interpretación de la información	52
3.11.1.	Técnicas de procesamiento.	52
3.11.2.	Análisis de datos.	52
3.12.	Descripción de ensayos a realizar.....	52
3.12.1.	Agregado grueso	52
3.12.1.1.	Pérdida de sulfato de magnesio - MTC E 209	52
3.12.1.2.	Abrasión los Ángeles - MTC E 207.....	52
3.12.1.3.	Índice de durabilidad - MTC E 214	53
3.12.1.4.	Partículas chatas y alargadas - MTC E 221.....	53
3.12.1.5.	Partículas fracturadas - MTC E 210.....	54
3.12.1.6.	Sales solubles totales - MTC E 219	54
3.12.1.7.	Adherencia - MTC E 519	55
3.12.1.8.	Absorción - MTC E 206.....	55
3.12.2.	Agregado Fino	56
3.12.2.1.	Equivalente de arena - MTC E 114.....	56
3.12.2.2.	Angularidad de agregado fino - MTC E 222.....	56
3.12.2.3.	Azul de metileno - AASTHO TP 57	57
3.12.2.4.	Adhesividad (Riedel Weber) - MTC E 220	58
3.12.2.5.	Pérdida de sulfato de magnesio - MTC E 209	58
3.12.2.6.	Índice de durabilidad - MTC E 214	59
3.12.2.7.	Índice de plasticidad (Malla N°40) - MTC E 111	59
3.12.2.8.	Índice de plasticidad (Malla N°200) - MTC E 111	60

3.12.2.9.	Sales solubles totales - MTC E 219	60
3.12.2.10.	Absorción - MTC E 205.....	61
3.12.3.	Granulometría de agregados	62
3.12.3.1.	Análisis granulométrico de agregados - MTC E 204.....	62
3.12.4.	Asfalto.....	62
3.12.4.1.	Penetración de los materiales bituminosos - MTC E 304	62
3.12.4.2.	Ductilidad de los materiales bituminosos - MTC E 306	63
3.12.5.	Filler.....	63
3.12.5.1.	Análisis granulométrico de agregados - MTC E 204.....	63
3.12.6.	Mezclas asfálticas en caliente	64
3.12.6.1.	Altura de especímenes compactados de mezclas de pavimento asfáltico - MTC E 507	64
3.12.6.2.	Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca - MTC E 514.....	65
3.12.6.3.	Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos - MTC E 508	65
3.12.6.4.	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall - MTC E 504	66
3.12.7.	Resistencia a la tracción indirecta, resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida.	67
3.12.7.1.	Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad por medio de la relación en la resistencia a la tensión indirecta - MTC E 522.....	67
3.12.7.2.	Efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas - MTC E 518	67
3.13.	Ensayos a realizar para evaluar las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.....	68
3.14.	Diagrama de flujo del proceso de investigación.....	69
Capítulo IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		71
4.1.	Caracterización de materiales.....	71
4.1.1.	Caracterización de agregados pétreos	72
4.1.1.1.	Agregado Grueso.....	72
4.1.1.1.1.	Cantera Morro Blanco	72
4.1.1.2.	Agregado Fino	73
4.1.1.2.1.	Cantera Morro Blanco	73
4.1.1.2.2.	Cantera Cunyac.....	75
4.1.2.	Caracterización de asfalto	76
4.1.3.	Caracterización de filler	78

4.2.	Diseño de mezcla asfáltica en caliente patrón	78
4.2.1.	Granulometría de agregados.....	80
4.2.1.1.	Granulometría de agregado grueso piedra chancada	80
4.2.1.2.	Granulometría de agregado fino	81
4.2.1.2.1.	Granulometría de agregado fino arena triturada	81
4.2.1.2.2.	Granulometría de agregado fino arena natural	82
4.2.1.3.	Combinación de agregados.....	83
4.2.2.	Determinación de la temperatura de mezcla y compactación	84
4.2.3.	Preparación de especímenes MAC.....	85
4.2.4.	Medición de los especímenes MAC.....	85
4.2.5.	Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC	86
4.2.6.	Determinación de la gravedad teórica máxima de las MAC	87
4.2.7.	Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall	89
4.2.8.	Gráficas porcentaje de asfalto vs parámetros de la mezcla asfáltica.....	90
4.2.9.	Determinación del contenido óptimo de asfalto.....	91
4.3.	Diseño de mezcla asfáltica en caliente adicionando cemento comercial como filler	92
4.3.1.	Preparación de especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler	92
4.3.2.	Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler.....	93
4.3.3.	Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler	94
4.3.4.	Determinación de la gravedad teórica máxima de las MAC adicionando cemento comercial como filler	95
4.3.5.	Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall	96
4.3.6.	Gráficas porcentaje de asfalto vs parámetros de la mezcla asfáltica.....	97
4.3.7.	Determinación del contenido óptimo de cemento adicionado como filler.....	99
4.3.7.1.	Del diseño de mezclas asfálticas caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón en laboratorio	100
4.3.7.2.	Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4% y 8% cemento como filler	101
4.3.7.3.	Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall obtención de contenido óptimo de cemento adicionado como filler (2.80% cemento adicionado como filler)	106
4.4.	Resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler	107
4.5.	Resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler.....	111

4.5.1. Módulo de rigidez de la MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler mediante nomogramas de Van der Poel y Shell y mediante las ecuaciones de Bonnaure et al.	115
Capítulo V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	117
5.1. De la caracterización de los agregados.....	117
5.1.1. Agregado grueso piedra chancada.....	117
5.1.2. Agregado fino arena triturada	117
5.1.3. Agregado fino arena natural	117
5.2. De la caracterización del asfalto	117
5.3. De la caracterización del filler cemento Yura IP.....	118
5.4. Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón teórico	118
5.5. Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón en laboratorio y la MAC patrón adicionando cemento como filler	119
5.6. Resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler	121
5.7. Resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler.....	122
5.8. Del módulo de rigidez MAC patrón y MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4%, y 8% cemento como filler	122
Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
6.1. Conclusiones.....	124
6.2. Recomendaciones	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
ANEXOS	128
Anexo N°01: Matriz de consistencia	128
Anexo N°02: Ensayos de laboratorio caracterización agregado grueso piedra chancada	129
Anexo N°03: Ensayos de laboratorio caracterización agregado fino arena triturada	137
Anexo N°04: Ensayos de laboratorio caracterización agregado fino arena natural.....	147
Anexo N°05: Ensayos de laboratorio análisis granulométrico de filler (Cemento).....	157
Anexo N°06: Ensayos de laboratorio material bituminoso Asfalto PEN 85/100	158
Anexo N°07: Ensayos de laboratorio análisis granulométrico de agregados	160
Anexo N°08: Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.....	164
Anexo N°09: Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento como filler	168
Anexo N°10: Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la tensión indirecta en MAC	172

Anexo N°11: Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión en MAC.....	179
Anexo N°12: Determinación de modulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente	185
Anexo N°13: Panel fotográfico	194
Anexo N°14: Certificados de calibración de equipos de laboratorio.....	208
Anexo N°15: Certificados de uso de laboratorio	219

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	8
Tabla 2: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)	16
Tabla 3: Requisitos de calidad para los agregados gruesos CE.010 Pavimentos Urbanos.....	17
Tabla 4: Requisitos de calidad para los agregados finos CE.010 Pavimentos Urbanos	17
Tabla 5: Requerimientos para caras fracturadas, equivalente de arena y angularidad del agregado fino CE.010 Pavimentos Urbanos.....	18
Tabla 6: Requisitos de calidad para los agregados gruesos Especificaciones Técnicas EG-2013.....	18
Tabla 7: Requisitos de calidad para los agregados finos Especificaciones Técnicas EG-2013.....	19
Tabla 8: Grados de asfalto recomendados para diferentes condiciones variadas de temperatura.....	21
Tabla 9: Selección del tipo de cemento asfáltico	21
Tabla 10: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración	22
Tabla 11: Factores de Estabilidad de Correlación (A)	35
Tabla 12: Requisito para mezclas asfálticas en caliente según CE.010 Pavimentos Urbanos.....	37
Tabla 13: VMA mínimo según valores de vacíos llenos de aire.....	37
Tabla 14: Requisito para mezclas asfálticas en caliente según Especificaciones Técnicas EG-2013... 38	38
Tabla 15: VMA mínimo según valores de vacíos llenos de aire.....	38
Tabla 16: Cantidad de muestras en forma de briquetas para determinar el contenido óptimo de asfalto (%).....	49
Tabla 17: Cantidad de muestras para determinar la gravedad teórica máxima en la determinación de cemento asfáltico óptimo (%).	50
Tabla 18: Cantidad de muestras en forma de briquetas con la adición de cemento comercial como filler.....	50
Tabla 19: Cantidad de muestras para determinar la gravedad teórica máxima de briquetas con la adición de cemento comercial como filler.	50
Tabla 20: Ensayos a realizar para evaluar las propiedades físico mecánica de las mezclas asfálticas en caliente.	68
Tabla 21: Procedencia y tipo de materiales.	71
Tabla 22: Resumen de resultados de ensayos de agregado grueso piedra chancada y comparación con los requisitos de la norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos.	72
Tabla 23: Resumen de resultados de ensayos de agregado grueso piedra chancada y comparación con los requisitos de la norma técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG- 2013.....	73
Tabla 24: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena triturada y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	74

Tabla 25: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena triturada y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	74
Tabla 26: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena natural y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	75
Tabla 27: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena natural y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	76
Tabla 28: Resumen de resultados de ensayos de caracterización de asfalto PEN 85/100 y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	76
Tabla 29: Resumen de resultados de ensayos de caracterización de cemento Yura IP y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	78
Tabla 30: Granulometría de agregado grueso piedra chancada.	80
Tabla 31: Granulometría de agregado fino arena natural.....	82
Tabla 32: Granulometría de agregado combinado.	83
Tabla 33: Preparación de cantidades para elaboración de briquetas de mezclas asfálticas.	85
Tabla 34: Resultado de la medición de altura y diámetro de los especímenes de las MAC.	85
Tabla 35: Resultado de peso específico aparente o bulk de los especímenes de las MAC.	86
Tabla 36: Resultado de gravedad específica teórica máxima de los especímenes de las MAC.....	87
Tabla 37: Resumen de resultados del diseño de mezclas asfálticas caliente por la metodología Marshall y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	92
Tabla 38: Resumen de resultados del diseño de mezclas asfálticas caliente por la metodología Marshall y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	92
Tabla 39: Preparación de cantidades para elaboración de briquetas de mezclas asfálticas con adición de cemento como filler.....	93
Tabla 40: Resultado de la medición de altura y diámetro de los especímenes de las MAC adicionando cemento como filler.....	93
Tabla 41: Resultado de peso específico aparente o bulk de los especímenes de las MAC adicionando cemento como filler.....	94
Tabla 42: Resultado de gravedad específica teórica máxima de los especímenes de las MAC adicionado cemento como filler.	95
Tabla 43: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.....	100

Tabla 44: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	100
.....
Tabla 45: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	101
.....
Tabla 46: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	101
.....
Tabla 47: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	102
.....
Tabla 48: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	102
.....
Tabla 49: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	103
.....
Tabla 50: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	103
.....
Tabla 51: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	104
.....
Tabla 52: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	104
.....
Tabla 53: Resumen de resultados por la metodología Marshall de MAC patrón y MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4%, y 8% cemento como filler.	105
.....
Tabla 54: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.	106
.....
Tabla 55: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	106
.....

Tabla 56: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	107
Tabla 57: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	107
Tabla 58: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	108
Tabla 59: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	108
Tabla 60: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.....	109
Tabla 61: Resumen de resultados de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad por medio de la relación en la resistencia a la tensión indirecta.	109
Tabla 62: Resultados teórico de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	110
Tabla 63 Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	111
Tabla 64: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	111
Tabla 65: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	112
Tabla 66: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	112
Tabla 67: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los	

requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	112
.....	
Tabla 68: Resumen de resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas.....	113
Tabla 69: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.	114
.....	
Tabla 70: Resumen de resultados del módulo de rigidez MAC patrón y MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4%, y 8% cemento como filler.....	115
Tabla 71: Resultados teóricos de Modulo de rigidez de MAC adicionado 2.80% cemento como filler.	116
.....	
Tabla 72: Matriz de consistencia.	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sección típica de un pavimento flexible.....	14
Figura 2: Molde de Compactación.....	25
Figura 3: Martillo de Compactación.....	26
Figura 4: Cabezal de Rotura.....	29
Figura 5: Máquina de Carga a Compresión.....	30
Figura 6: Diagrama esquemático de fases de una mezcla asfáltica compactada.....	40
Figura 7: Nomograma para determinar el módulo de rigidez del asfalto.....	43
Figura 8: Nomograma para determinar el módulo de rigidez de mezclas asfálticas.....	45
Figura 9: Diagrama de fases de la mezcla asfáltica.....	46
Figura 10: Diagrama de flujo del proceso de investigación.....	70
Figura 11: Ubicación de la planta de asfalto PLAN COPESCO CUSCO.....	71
Figura 12: Gravedad específica, Punto de ablandamiento (Anillo y bola) y otras características de material bituminoso.....	77
Figura 13: Densidad de cemento Yura tipo IP.....	78
Figura 14: Curva granulométrica de agregado grueso piedra chancada.....	80
Figura 15: Granulometría de agregado fino arena triturada.....	81
Figura 16: Curva granulométrica de agregado fino arena triturada.....	81
Figura 17: Curva granulométrica de agregado fino arena natural.....	82
Figura 18: Curva granulométrica de agregado combinado.....	83
Figura 19: Carta viscosidad 85/100 PEN.....	84
Figura 20: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall.....	89
Figura 21: Gráficas Porcentaje de asfalto vs Gmb, %Va, VMA y VFA. Parte I.....	90
Figura 22: Gráficas Porcentaje de asfalto vs Estabilidad, Flujo, Relación estabilidad/flujo y Relación polvo-asfalto. Parte II.....	91
Figura 23: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall adicionando cemento comercial como filler.....	97
Figura 24: Gráficas Porcentaje de cemento adicionado como filler vs Gmb, %Va, VMA y VFA. Parte I.....	98
Figura 25: Gráficas Porcentaje de cemento adicionado como filler vs Estabilidad, Flujo, Relación estabilidad/flujo y Relación polvo-asfalto. Parte II.....	99
Figura 26: Resistencia promedio de subconjuntos vs cemento adicionado como filler.....	109
Figura 27: Relación de resistencia a la tensión indirecta vs cemento adicionado como filler.....	110
Figura 28: Resistencia promedio de subconjuntos vs cemento adicionado como filler.....	113
Figura 29: Índice de resistencia retenida vs cemento adicionado como filler.....	114

Figura 30: Módulo de rigidez de la mezcla asfáltica vs Porcentaje adicionado de cemento como filler.	115
Figura 31: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso piedra chancada.	129
Figura 32: Abrasión de los ángeles agregado grueso piedra chancada.	130
Figura 33: Ensayo para índice de durabilidad en piedra chancada.	131
Figura 34: Índice de aplanamiento y alargamiento agregado grueso piedra chancada.	132
Figura 35: Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso piedra chancada.	133
Figura 36: Sales solubles en agregado grueso piedra chancada.	134
Figura 37: Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – bitumen en piedra chancada.	135
Figura 38: Peso específico y absorción agregado grueso piedra chancada.	136
Figura 39: Equivalente de arena agregado fino arena triturada.	137
Figura 40: Angularidad de agregado fino arena triturada.	138
Figura 41: Azul de metíleno de agregado fino arena triturada.	139
Figura 42: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos de arena triturada.	140
Figura 43: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino arena triturada.	141
Figura 44: Ensayo para índice de durabilidad agregado fino arena triturada.	142
Figura 45: Índice de plasticidad malla N°40 agregado fino arena triturada.	143
Figura 46: Índice de plasticidad malla N°200 agregado fino arena triturada.	144
Figura 47: Sales solubles agregado fino arena triturada.	145
Figura 48: Peso específico y absorción agregado fino arena triturada.	146
Figura 49: Equivalente de arena agregado fino arena natural.	147
Figura 50: Angularidad de agregado fino arena natural.	148
Figura 51: Azul de metíleno de agregado fino arena natural.	149
Figura 52: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos de arena natural.	150
Figura 53: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino arena natural.	151
Figura 54: Ensayo para índice de durabilidad agregado fino arena natural.	152
Figura 55: Índice de plasticidad malla N°40 agregado fino arena natural.	153
Figura 56: Índice de plasticidad malla N°200 agregado fino arena natural.	154
Figura 57: Sales solubles agregado fino arena natural.	155
Figura 58: Peso específico y absorción agregado fino arena natural.	156
Figura 59: Análisis granulométrico filler (Cemento).	157
Figura 60: Penetración del material bituminoso asfalto PEN 85/100.	158
Figura 61: Ductilidad del material bituminoso asfalto PEN 85/100.	159
Figura 62: Análisis granulométrico agregado grueso piedra chancada.	160
Figura 63: Análisis granulométrico agregado fino arena triturada.	161
Figura 64: Análisis granulométrico agregado fino arena natural.	162

Figura 65: Combinación de agregados piedra chancada, arena triturada y arena natural.....	163
Figura 66: Pesos para la preparación de briquetas de MAC.....	164
Figura 67: Medición de los especímenes MAC.....	165
Figura 68: Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC.....	166
Figura 69: Determinación de la gravedad teórica máxima de los especímenes MAC.....	167
Figura 70: esos para la preparación de briquetas de MAC adicionando cemento comercial como filler.	
.....	168
Figura 71: Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler.....	169
Figura 72: Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC adicionando cemento	
comercial como filler.....	170
Figura 73: Determinación de la gravedad teórica máxima de los especímenes MAC adicionando	
cemento comercial como filler.....	171
Figura 74: Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler para el	
ensayo de resistencia a la tensión indirecta pre acondicionamiento.....	172
Figura 75: Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler para el	
ensayo de resistencia a la tensión indirecta post acondicionamiento.....	173
Figura 76: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón.....	174
Figura 77: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 1 % cemento comercial	
como filler.....	175
Figura 78: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 2 % cemento comercial	
como filler.....	176
Figura 79: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 4 % cemento comercial	
como filler.....	177
Figura 80: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 8 % cemento comercial	
como filler.....	178
Figura 81: Medición de los especímenes MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como	
filler para el ensayo de resistencia a la compresión.....	179
Figura 82: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón.....	180
Figura 83: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 1%	
cemento comercial como filler.....	181
Figura 84: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 2%	
cemento comercial como filler.....	182
Figura 85: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 4%	
cemento comercial como filler.....	183
Figura 86: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 8%	
cemento comercial como filler.....	184

Figura 87: Módulo de rigidez del asfalto PEN 85/100, mediante nomogramas de Van der Poel y Shell.	185
Figura 88: Determinación del módulo de rigidez del asfalto PEN 85/100, mediante nomograma de Van der Poel.....	186
Figura 89: Módulo de rigidez de la mezcla asfáltica, mediante el nomograma de Shell.....	187
Figura 90: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica patrón, mediante nomograma de Shell.....	188
Figura 91: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 1% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.....	189
Figura 92: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 2% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.....	190
Figura 93: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 4% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.....	191
Figura 94: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 8% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.....	192
Figura 95: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica adicionando 1%, 2%, 4% y 8% cemento comercial como filler, mediante las ecuaciones de Bonnaure et al.....	193
Figura 96: Granulometría de agregado grueso piedra chancada. Fuente: Elaboración propia.....	194
Figura 97: Granulometría de agregado fino arena natural.	194
Figura 98: Granulometría de agregado fino arena triturada.....	194
Figura 99: Equipo para calentar los agregados y asfalto.....	195
Figura 100: Calentado de briqueteras para iniciar con la mezcla y compactación de MAC patrón. ..	195
Figura 101: Separación de asfalto para iniciar con la mezcla y compactación de MAC patrón.....	195
Figura 102: Calentado de agregados para la posterior mezcla con asfalto.	196
Figura 103: Control de temperatura en el calentado de agregados para la mezcla y compactación de MAC patrón.	196
Figura 104: Calentado en simultáneo de agregado, asfalto y equipo para la mezcla y compactación de MAC patrón.	196
Figura 105: Preparación de agregados para las distintas dosificaciones de asfalto para la mezcla y compactación de MAC patrón.....	197
Figura 106: Muestras compactadas con las distintas dosificaciones de asfalto para la obtención de contenido óptimo de asfalto de MAC patrón.	197
Figura 107: Medición de espesor y altura de los especímenes para la obtención de contenido óptimo de asfalto de MAC patrón.	197
Figura 108: Pesaje de los especímenes para la obtención de contenido óptimo de asfalto de MAC patrón.	198

Figura 109: Sumergido de los especímenes en baño maría a 25°C para determinar el peso específico de las MAC	198
Figura 110: Control de temperatura de baño maría para determinar el peso específico de las MAC.	198
Figura 111: Control de temperatura de baño maría para determinar el peso específico de las MAC.	199
Figura 112: Control de temperatura para el pesaje de especímenes sumergidas y así determinar el peso específico de las MAC.	199
Figura 113: Baño maría de los especímenes para posterior ensayo en aparato Marshall y determinación de estabilidad y flujo.	199
Figura 114: Colocación de muestras en el ductilómetro de asfalto Pen 85/100.	200
Figura 115: Control de temperatura en el ductilómetro para realizar el ensayo de ductilidad de asfalto pen 85/100.....	200
Figura 116: Ensayo de ductilidad de asfalto pen 85/100.	200
Figura 117: Colocación de muestras en el penetrómetro de asfalto Pen 85/100.....	201
Figura 118: Calentado de agregados, cemento y asfalto para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.....	201
Figura 119: Compactación manual de las MAC para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.	201
Figura 120: Extracción manual de las MAC para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.	202
Figura 121: Especímenes adicionando 1%, 2%, 4% y 8% de cemento como filler para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.	202
Figura 122: Medición de espesor y altura de especímenes adicionando 1%, 2%, 4% y 8% de cemento como filler de MAC.	202
Figura 123: Especímenes adicionando 1%, 2%, 4% y 8% de cemento como filler para los ensayos TSR, resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida.....	203
Figura 124: Moldes que se usaron para la elaboración de especímenes de MAC.	203
Figura 125: Baño maría para realizar el ensayo en el aparto Marshall y así obtener los parámetros de estabilidad y flujo de MAC adicionado cemento como filler.....	203
Figura 126: Equipo de vacíos para realizar el ensayo de gravedad teórica máxima y saturación de MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.....	204
Figura 127: Equipo RICE para la determinación de gravedad teórica máxima y saturación de MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.....	204
Figura 128: Saturación de los especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler para realizar el ensayo TSR.....	204
Figura 129: Preparación de las de los especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler para la etapa de congelación del ensayo TSR.....	205

Figura 130: Proceso del ensayo de TSR donde los especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler son congelados a -18°C.....	205
Figura 131: Descongelación a 25°C para su medición de espesor y diámetro de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler son congelados.	205
Figura 132: Ensayo en el aparato Marshall para determinar estabilidad y flujo de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.....	206
Figura 133: Ensayo en el cabezal Lottman para determinar TSR de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.	206
Figura 134: Ensayo compresión para determinar resistencia a la compresión e índice de retención retenida de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.....	207
Figura 135: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte I.	208
Figura 136: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte II.	209
Figura 137: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte III.....	210
Figura 138: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte IV.	211
Figura 139: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte V.....	212
Figura 140: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte VI.	213
Figura 141: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte I. .	214
Figura 142: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte II.	215
Figura 143: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte III.	216
Figura 144: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte IV.	217
Figura 145: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte V.	218
Figura 146: Certificado de uso de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales – EPIC.	219
Figura 147: Certificado de uso de laboratorio de Ingeniería Inka Test E.I.R.L.....	220
Figura 148: Certificado de uso de laboratorio de METROASPHALT S.A.C.	221

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar cómo influye la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico mecánicas. Siendo un tipo de investigación aplicada, nivel y método de investigación experimental, diseño de la investigación multivariado - experimental - tradicional, población constituida por los diseños de mezclas asfálticas en caliente, tamaño de muestra ciento treinta y dos muestras de mezclas asfálticas, muestreo No Probabilístico intencionado. Los resultados muestran que la adición de cemento comercial como filler tiene un contenido óptimo de 2.80%, que influye en las propiedades fisico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente - MAC patrón, con respecto a la relación estabilidad/flujo incrementa en 371.14, representando un incremento de 10.30%; en cuanto al porcentaje de vacíos llenos de aire incide disminuyendo en 1.23%, representando una disminución de 37.73%; en cuanto al porcentaje de vacíos en el agregado mineral incide disminuyendo 1.40%, representando una disminución de 9.33%; en cuanto al porcentaje de vacíos llenos de asfalto incide incrementado en 6.82%, representando un incremento de 8.71%; en cuanto a la resistencia a la tensión indirecta incrementa en 5.62%, representando un incremento de 6.83%; en cuanto a la resistencia a la compresión disminuye en 0.29MPa, representando una disminución de 7.82%; en cuanto al índice de resistencia retenida incrementa en 8.71%, representando un incremento de 10.95%; y en cuanto al módulo de rigidez incrementa en 0.52×10^9 N/m², representando un incremento de 12.38%, obtenido por el nomograma de Shell y en 0.45×10^9 N/m², representando un incremento de 10.69%.

Palabras clave: Asfalto, Cemento, Filler, Propiedades.

ABSTRACT

This research aims to analyze the influence of adding commercial cement as a filler on the physical and mechanical properties of asphalt mixes. It is an applied research study, employing an experimental research level and method, with a multivariate, experimental, and traditional design. The population consisted of hot mix asphalt mix designs, and the sample size was 132 asphalt mix samples, selected using purposive non-probability sampling. The results show that the optimal content of commercial cement as a filler is 2.80%, which influences the physical and mechanical properties of the standard hot mix asphalt mix (HMA). Specifically, the stability/flow ratio increases by 371.14, representing a 10.30% increase; the percentage of air-filled voids decreases by 1.23%, representing a 37.73% reduction. Regarding the percentage of voids in the mineral aggregate, it decreases by 1.40%, representing a decrease of 9.33%; regarding the percentage of voids filled with asphalt, it increases by 6.82%, representing an increase of 8.71%; regarding the indirect tensile strength, it increases by 5.62%, representing an increase of 6.83%; regarding the compressive strength, it decreases by 0.29 MPa, representing a decrease of 7.82%; regarding the retained strength index, it increases by 8.71%, representing an increase of 10.95%; and regarding the stiffness modulus, it increases by 0.52×10^9 N/m², representing an increase of 12.38%, obtained by the Shell nomogram, and by 0.45×10^9 N/m², representing an increase of 10.69%.

Keywords: Asphalt, Cement, Properties, Mixture.

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas se remontan hace miles de años siendo los primeros usos en impermeabilizaciones de embalses y tanques de agua, 4000 a.C. carreteras en Iraq, 600 a.C. vías pavimentadas a base de bloques de terracota unidos por asfalto natural, vías de accesos para la ejecución de las pirámides de Egipto, en las rutas de la seda, los romanos de una forma más técnica. Durante los siglos XV y XVI la pavimentación de vías se hace extensiva siendo los franceses quienes inician con estudios sistemáticos en la construcción de vías. En los siglos XVIII y XIX aparecen en gran brecha las primeras técnicas del comportamiento elástico y carga permitida del pavimento asfáltico como un todo continuo de áridos, de diferentes tamaños; Estados Unidos hasta el siglo XIX usaba asfalto natural del Lago Trinidad, a inicios del siglo XX la producción de asfalto refinado supera al asfalto natural, es cuando la fabricación de mezclas asfálticas empieza a industrializarse. En los años 70 debido a la crisis del petróleo se obliga a buscar y seguir nuevas técnicas de reciclado de pavimentos asfálticos (EADIC, 2016).

En el Perú durante los 1935-1940 se usaba el ligante bituminoso constituido por polvo asfáltico más un solvente Fluxol siendo perjudicial para a la salud de los operarios. En 1946 y 1947 en la carretera de Chorrillos-Pisco se unas una pavimentadora marca ADNUM usada en Panamá sirviendo para extender la mezcla bituminosa. En 1938 se instala la primera planta de asfaltos bajo la dirección de International Petroleum Company – ESSO, produciéndose el asfalto líquido RC-250. En 1980 en Lurín Lima se instala la refinería Conchan diseñada por la Fluor Corporation de Canadá popularizándose las mezclas en caliente con cemento asfáltico PEN 60/70. En 1969 se crea PETROPERU S.A. el cual produce betunes, asfaltos industriales, ligantes especiales y emulsiones (Camayo, 2022).

La provincia del Cusco tiene 62.08 kilómetros de vías asfaltadas y 380.86 kilómetros de vías afirmadas, sin afirmar y en trocha, según la Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial - Informes y publicaciones - (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Gobierno del Perú, 2022), lo cual se manifiesta la necesidad de ampliar nuestros conocimientos y metodologías en mezclas asfálticas para la reparación, mantenimiento, conservación y construcción de pavimentos asfálticos y otros. En la actualidad se observa que en la ciudad del Cusco se observan deficiencias en la carpeta asfáltica presentando deficiencias, siendo una posible causa la falta de aplicación de tecnologías en el proceso de producción de mezclas asfálticas.

La presente investigación se realizó por el interés de proponer una alternativa más que mejore las propiedades mecánicas en el diseño de mezclas asfálticas, esta investigación se refiere al análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler. Las proporciones consideradas para la adición de cemento comercial como filler son en 1%, 2%, 4% y 8% respectivamente en el diseño de mezcla asfáltica, el cual será comparado con una

mezcla asfáltica convencional, para lo cual se deberá conocer y estudiar sus propiedades mecánicas como estabilidad, flujo y los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas.

El tipo de investigación es aplicada, teniendo como nivel y método de investigación experimental; la población está constituido por los diseños de mezclas asfálticas en la ciudad del Cusco; para determinar la muestra se considera un muestreo no probabilístico intencionado.

La finalidad de la investigación es analizar en qué medida influye la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas, analizar la relación estabilidad/flujo, determinar la incidencia por la adición de cemento comercial como filler en los parámetros volumétricos del diseño de mezcla asfáltica en caliente y determinar las resistencias a la compresión y tracción indirecta con la adición de cemento comercial como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco.

GENERALIDADES

1.1. Justificación de la investigación

La provincia del Cusco tiene 62.08 kilómetros de vías asfaltadas y 380.86 kilómetros de vías afirmadas, sin afirmar y en trocha, según la Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial - Informes y publicaciones - Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Gobierno del Perú (2022), por lo que existe la necesidad de construir, mejorar, conservar y/o mantener las redes viales nacional, departamental y vecinal para reducir los costos operativos en el transporte de personas, bienes y servicios, optimizando el tiempo y reduciendo la contaminación del medio ambiente; y brindando una mejor calidad de vida por donde pasen las redes viales. Por consiguiente, se manifiesta la necesidad que de ampliar nuestros conocimientos y metodologías en mezclas asfálticas para la reparación, mantenimiento, conservación y construcción de pavimentos asfálticos. Actualmente en la ciudad del Cusco, se observa deficiencias en las carpetas asfálticas debiéndose una de sus posibles causas a la falta de aplicación de conocimientos y tecnologías relativamente nuevas mas no usadas.

El estudio realizado en la evaluación de en los pavimentos flexibles en la ciudad del Cusco caso Av. la Cultura Tramo 4to Paradero de San Sebastián – Grifo Móvil de San Jerónimo por Auccahuaqui & Corahua (2016), mencionan en sus conclusiones que la falla mayoritaria que dificulta la transitabilidad es el ahuellamiento en el tramo del 4to paradero de San Sebastián al Grifo Móvil de San Jerónimo, lo que demuestra la necesidad de la búsqueda de materiales como filler que ayuden a mejorar el comportamiento de los pavimentos flexibles, puesto que el filler ayudara a mejorar la resistencia al ahuellamiento aglomerando los agregados y aumentando la rigidez de la mezcla asfáltica.

El filler a adicionar cemento, al ser mezclada con los agregados, presenta propiedades de resistencia, durabilidad y cohesividad, propiedades que favorecen a las mezclas asfálticas teóricamente mejorando sus propiedades de resistencia, durabilidad, menor porcentaje de vacíos y disminuyendo su permeabilidad.

La incorporación de cemento como filler en la mezcla asfáltica cumplirá la función de llenar los vacíos incrementando la adhesión entre asfalto y agregados, pudiendo mejorar sus propiedades físico mecánicas tales como estabilidad, flujo, vacíos llenos de aire, vacíos en el agregado mineral, vacíos llenados con asfalto, resistencia a la tensión indirecta, resistencia a la compresión e índice a la resistencia retenida y módulo de rigidez.

En la presente investigación se realiza con la intención de aportar al conocimiento existente de diseño de mezclas asfálticas y analizar las propiedades fisico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, como alternativa y/o propuesta, puesto que según los antecedentes de la investigación se estaría demostrando mejoras en las propiedades fisico-mecánicas de las mezclas asfálticas calientes.

Esta investigación se desarrolla porque existe la necesidad de encontrar nuevos materiales y/o insumos como alternativa y/o propuesta que mejoren las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas tales como estabilidad, flujo y parámetros volumétricos.

Asimismo, la incorporación del cemento como filler en mezclas asfálticas en caliente mostraron un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica discontinua dándole mayor estabilidad, tal como lo demostraron Amaya & Soto (2015). Por otra parte, Aguilar et al. (2016), menciona que la incorporación de cal hidratada mejora las condiciones a la humedad en que se exponen los pavimentos flexibles con respecto de su muestra patrón. De igual forma la adición de cemento o cal hidratada afecta a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas incrementando los valores de estabilidad y con respecto al flujo se mantiene, según los estudios de Quispe (2018). Además, el uso como filler de diatomitas en mezclas asfálticas en caliente se tiene que la estabilidad disminuye ligeramente y el flujo incrementa, demostrándose que existe una variación de las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas.

Por lo que, para la presente investigación, de acuerdo a lo mencionado en párrafos anteriores, se plantea la adición de cemento como filler y así mostrar cómo son influenciadas con respecto a las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente.

1.2. Planteamiento y formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco 2023?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye la adición de cemento como filler en la relación estabilidad/flujo en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?
- ¿De qué manera incide la adición de cemento como filler en los parámetros volumétricos en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?
- ¿En qué medida incrementará con la adición de cemento como filler la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?
- ¿En qué medida variará la adición de cemento como filler en el módulo de rigidez en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar como influye la relación estabilidad/flujo con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- Analizar la incidencia en los parámetros volumétricos con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- Determinar la variación de la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- Determinar el módulo de rigidez con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General.

La adición de cemento comercial como filler influirá incrementando las propiedades fisico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco 2023.

1.4.2. Hipótesis Específicos

- La adición de cemento como filler influirá incrementando la relación estabilidad/flujo, aumentando la estabilidad y manteniendo o disminuyendo el flujo en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- La adición de cemento como filler incidirá disminuyendo los parámetros volumétricos en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- La adición de cemento como filler presentará un incremento en la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- La adición de cemento como filler aumentará el módulo de rigidez en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

1.5. Identificación de variables e indicadores

1.5.1. Variable Independiente

- Adición de Cemento comercial como filler

1.5.2. Variables Dependientes

- Propiedades fisico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler.

1.5.3. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	NIVEL DE MEDICIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE						
Adición de cemento comercial como filler	Proporción de cemento comercial utilizado como filler en adición dentro de una mezcla asfáltica en caliente patrón.	Porcentajes de adición de cemento comercial como filler, que se incorporan a las mezclas asfálticas durante su dosificación y elaboración de muestras en el laboratorio.	Adición de cemento comercial como filler	Porcentaje de adición de cemento comercial como filler (%)	%	Ficha de recolección de datos Método Marshall MTC E 504
DEPENDIENTE						
Propiedades físico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas en caliente.	Conjunto de características y respuestas estructurales de una mezcla asfáltica en caliente compactada, que determinan su comportamiento bajo cargas de tránsito y condiciones ambientales.	Medidas cuantitativas obtenidas de ensayos de laboratorio normalizados, realizados sobre probetas y/o muestras fabricadas con la adición de cemento comercial como filler en diferentes porcentajes.	Estabilidad Flujo Parámetros volumétricos Resistencia a la tensión indirecta Resistencia a la compresión e índice a la resistencia retenida Módulo de rigidez	Esfuerzo Deformación Vacíos llenos de aire Vacíos en el agregado mineral Vacíos llenados con asfalto Resistencia a la tensión indirecta Resistencia a la compresión Índice de resistencia retenida Módulo de rigidez	kN mm % % % % MPa 	Ficha de recolección de datos Método Marshall MTC E 504 Ficha de recolección de datos Método Marshall MTC E 504 Ficha de recolección y procesamiento de datos Ficha de recolección y procesamiento de datos Ficha de recolección y procesamiento de datos Ficha de recolección de datos Resistencia a la tensión indirecta MTC E 522 Ficha de recolección de datos Resistencia a la compresión MTC E 518 Ficha de recolección de datos Resistencia a la compresión MTC E 518 Ficha de recolección de datos Nomograma de Shell Ecuaciones Bonnaure et al.

Nota. Elaboración propia.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.6. Antecedentes del trabajo de investigación

1.6.4. A nivel internacional

Para la presente investigación se considera dos antecedentes de trabajo de investigación a nivel internacional los cuales se muestran a continuación.

Como primer antecedente de trabajo de investigación a nivel internacional se tiene a Amaya & Soto (2015), en su tesis titulada “Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cemento portland”, investigación que se realizó en el Programa de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena – Colombia. La investigación tiene un enfoque mixto debido a que se llevó a cabo una previa documentación bibliográfica del tema, unos estudios experimentales y se efectuaron ensayos de tipo físico-mecánico a los agregados pétreos proporcionados por la planta de asfalto TORCOROMA para caracterizar sus propiedades mecánicas y físicas, luego de tener todos estos resultados finalmente se construyeron y ensayaron las briquetas de mezclas asfáltica discontinua tipo MF10.

Teniendo como objetivo general caracterizar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica discontinua con adición de cemento portland, a través de ensayos de laboratorio estandarizados por el método Marshall para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente (en base a los criterios de diseño para una mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall), con el fin de detectar posibles variaciones representativas en dichas propiedades. Asimismo, como objetivos específicos plantearon identificar aspectos básicos del diseño y elaboración de una mezcla asfáltica discontinua con adición de cemento portland, determinar los valores de las propiedades físicas tales como: estabilidad, flujo, vacíos, densidad, etc., de una mezcla asfáltica discontinua con cemento y sin cemento, y comparar las propiedades de una mezcla asfáltica discontinua hecha de manera convencional con una a la cual se le haya incorporado cemento portland, a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas.

Como conclusión de mayor importancia mencionan Amaya & Soto (2015), que el comportamiento de la mezcla con adición de cemento portland mostró un mejor comportamiento en el ensayo de la estabilidad y flujo que la muestra patrón sin adición de cemento lo que se puede concluir que el cemento portland mejoró las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica discontinua tipo MF10 brindándole mayor estabilidad a medida que aumenta el porcentaje llegando a un porcentaje óptimo de 4% de cemento adicionado puesto a partir de este porcentaje las propiedades mejoradas decaen nuevamente.

Como segundo antecedente de trabajo de investigación a nivel internacional se tiene a Aguilar et al. (2016), en su investigación titulada “Diseño de mezcla asfáltica en caliente con cal hidratada para el mejoramiento de la resistencia a la humedad”, investigación que se realizó en la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador - El Salvador.

Con el objetivo general de elaborar el diseño de mezcla asfáltica en caliente con cal hidratada para el mejoramiento de la resistencia a la humedad, como objetivos específicos realizar los ensayos correspondientes a los agregados pétreos y al cemento asfáltico siguiendo las respectivas normas para determinar su calidad en el diseño, determinar la proporción de los agregados pétreos por el método Bailey que conformaran la combinación granulométrica de nuestro diseño de mezcla asfáltica en caliente aplicar la metodología de diseño Marshall, siguiendo la norma AASHTO T-245, (Resistencia a la fluencia plástica de mezclas bituminosas usando el aparato Marshall), para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente y el proceso de elaboración de briquetas, obteniendo el porcentaje óptimo de asfalto, elaborar un diseño Marshall con el porcentaje óptimo de asfalto incorporando porcentajes de cal hidratada, en base al peso de los agregados pétreos, obtener la resistencia a la compactación de mezcla asfáltica en caliente debido al daño inducido por la humedad, basado en la norma AASHTO T283 para cada porcentaje de cal hidratada y analizar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Llegando a las siguientes conclusiones: El trabajo de graduación consistía en utilizar grava TMN 19mm ($\frac{3}{4}$ ”), grava 0 y arena triturada; con la granulometría Bailey obtuvimos que no era necesaria la arena triturada, por lo tanto utilizamos 48% de grava TMN 19mm ($\frac{3}{4}$ ”) y 52% de grava 0 para la realización de nuestro diseño de mezcla asfáltica en caliente con cal hidratada para mejorar la resistencia a la humedad, con la granulometría Bailey de nuestros agregados pétreos, se elaboró un diseño Marshall y obtuvimos el porcentaje óptimo de asfalto, y ese valor utilizamos para los diferentes porcentajes de cal hidratada, la temperatura de diseño para el mezclado y compactación en laboratorio de la mezcla asfáltica en caliente se obtiene a través de la carta viscosidad-temperatura, la cual indica que la mezcla asfáltica en caliente puede ser mezclada en un rango de temperaturas de 155-160°C y compactada en rango de temperaturas de 145-150°C, en este trabajo de graduación se utilizó una temperatura de 157°C para el mezclado y 147°C para la compactación, ésta se utilizó en mezcla normal y con adición de cal; y para mezcla asfáltica normal el grado de tensión indirecta(TSR) fue del 83.88%, para el 1% de cal hidratada fue del 94.30% y para el 2% de cal hidratada fue del 97.93%. Por lo tanto, la incorporación de la cal hidratada en las mezclas asfálticas en caliente, mejora las condiciones a la humedad en que se exponen los pavimentos flexibles.

1.6.5. A nivel nacional

A nivel nacional Quispe (2018), con su tesis “Influencia de la adición de cal hidratada o cemento a la estabilidad y fluencia dentro del diseño mezcla asfáltica en caliente, Pilcomayo – 2018”, desarrollado en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Alas Peruanas, ubicada en Huancayo, siendo una investigación del tipo cuantitativa, correspondiendo a un diseño experimental, el nivel de investigación es experimental – correlacional, la población corresponde a diseño de mezcla asfáltica en caliente, la muestra diseño de mezcla asfáltica en caliente para la pavimentación de vías en el distrito de la localidad de Pilcomayo-Huancayo. La técnica de investigación es directa – investigación, y los instrumentos utilizados son diseño de mezcla

asfáltica en caliente (patrón y adición), fichas de observación e instrumentos adecuados para realizar los ensayos.

Los objetivos planteados por Quispe (2018), analizar la influencia de la cal hidratada o cemento portland en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente como objetivo general y como objetivos específicos determinar el porcentaje óptimo de asfalto en función a la estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente, determinar el porcentaje óptimo de cal hidratada o cemento dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente y comparar cuál de los dos materiales: cal hidratada o cemento tiene mejor estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Quispe (2018), menciona que el presente trabajo da a conocer las propiedades dentro de la mezcla asfáltica en caliente al adicionar de cal hidratada o cemento, esto se lleva a cabo por la necesidad de tener la óptima estabilidad y fluencia dentro del diseño de mezclas asfálticas en caliente por medio de estas adiciones. El diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional tiene como componentes: agregados de la localidad de Pilcomayo, asfalto CAP PEN 85 – 100, el cual para comprobar los beneficios del uso de cal hidratada o cemento utilizaremos una proporción (0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%). El cual los tres tipos de mezcla serán sometidos a los ensayos que indica el método de Marshall para mezcla asfálticas, con esto se podrá comparar los resultados de estos ensayos y así conocer las diferencias entre mezclas y determinar si la cal hidratada o el cemento puede cumplir la función de relleno mineral (filler) como aditivo.

Mediante la investigación Quispe (2018), concluyó que la adición de filler, si afecta las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, como se puede ver incrementa los valores de estabilidad, mientras que en el flujo mantiene valores cercanos al diseño original. La adición de cal hidratada cuenta con valores de estabilidad máximas de 1332.14 kg, el cemento cuenta con valor de estabilidad máxima 1651.95 kg. Siendo este último el más efectivo, el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, según Marshall es de 4.5% para el tipo de asfalto y agregado ensayado en esta investigación, la investigación ha dado como resultado que los porcentajes óptimos de adición de cal hidratada y cemento portland para obtener los valores más óptimos de estabilidad son 3.5% y 4% respectivamente y según la investigación en el caso del flujo los valores son similares, sin embargo, en la estabilidad la adición de cemento portland como filler nos da los valores más altos, el valor más alto registrado es para la adición de 4.0% de cemento, que nos da una estabilidad máxima de 1651.95 kg.

1.6.6. A nivel regional

Una investigación similar fue desarrollada por Salas & Yllatupa (2019), en su tesis titulada “Filler de Diatomita en el Diseño de la Mezcla Asfáltica en Caliente Mediante Método Marshall, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad de Cusco, 2016-2017”, en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, siendo de nivel de investigación

descriptiva, del tipo de investigación deductiva (Cuantitativa) y correspondiendo a un diseño de investigación Experimental.

Como objetivo general Salas & Yllatupa (2019) plantearon como propósito general analizar la influencia del filler de diatomita en los factores de diseño de la mezcla asfáltica en caliente, utilizando el método Marshall, en los ensayos realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la ciudad del Cusco durante el periodo 2016-2017. Asimismo, entre sus objetivos específicos se establecieron: verificar si los materiales cumplen con las exigencias mínimas estipuladas en la normativa de pavimentos urbanos; efectuar un análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre la mezcla asfáltica en caliente con y sin adición de filler de diatomita; examinar los efectos de este material sobre la estabilidad de la mezcla; determinar su incidencia en el flujo de la misma; y evaluar la influencia del filler de diatomita en el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla asfáltica en caliente.

Salas & Yllatupa (2019) mencionan que los pavimentos en la ciudad del Cusco están siendo sobre usadas, ya que se ve estructuras de pavimento flexible con agrietamientos, ahueamientos, peladuras, etc. Por lo tanto, encontrar alternativas que mejoren esta situación es necesario. Para el estudio se seleccionó el agregado empleado por la Municipalidad del Cusco, realizándose un análisis de sus características en función del diseño y la durabilidad. Considerando las condiciones climáticas de la ciudad, se utilizó asfalto PEN 85-100. La diatomita aplicada presentó un elevado contenido de sílice (95%). En ambos casos se obtuvieron las propiedades necesarias para el diseño, lo que permitió elaborar mezclas asfálticas en caliente con y sin diatomita, a fin de compararlas posteriormente en sus características físicas y mecánicas.

Las conclusiones a las que llegaron Salas & Yllatupa (2019) con respecto a la mezcla asfáltica en caliente son las siguientes: Para el caso de estabilidad, se muestra una ligera discrepancia, pero en ambos casos pasaron los mínimos requeridos por norma, el mismo hecho de que al adicionar la diatomita la muestra tenga otra composición, determina que tan resistente es esta ante cargas dadas, ya que la estabilidad depende básicamente de la fricción y cohesión de la muestra; en un inicio, sin la diatomita, la resistencia básicamente es aportada por la fricción de los materiales pétreos, al adicionar diatomita (siendo un fino), este se disminuye, se puede concluir que la fricción entre los materiales pétreos se ve afectada por el filler de diatomita, la cual hace que este valor sea bajo, por lo tanto la estabilidad de este disminuirá. La incorporación de diatomita influye en la interacción entre el ligante y el agregado, lo que repercute directamente en la cohesión. Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se selecciona el valor en el que se alcanza el máximo rendimiento: en la mezcla sin diatomita corresponde al 5.5%, mientras que en la mezcla con diatomita asciende a 6.2%. En cuanto al flujo, en ambos casos los resultados no cumplen con los parámetros establecidos por la norma, que exige valores entre 8 y 14. Se evidencia que los valores obtenidos con la adición de diatomita son inferiores. Cabe señalar que la curva de flujo representa la deformación; si bien el ligante constituye el componente

deformable, la presencia de diatomita limita dicha deformación. En conclusión, en el primer caso se observa que los valores elevados de fluencia indican una excesiva deformabilidad de la mezcla, lo que conlleva a una tendencia marcada hacia la deformación plástica bajo la acción de cargas de tránsito. Esto se traduce en la aparición de ahuellamientos. Sin embargo, la adición de diatomita reduce la deformabilidad de la mezcla asfáltica, favoreciendo la rigidez y disminuyendo la plasticidad del pavimento, lo cual permite inferir que, frente a cargas de alto tránsito, la deformación sería menos significativa. Respecto al porcentaje de vacíos, se evidencia una mayor discrepancia. La normativa establece un rango aceptable entre 3% y 5%. En el caso de la mezcla sin diatomita, se obtuvo un valor promedio de 4% de vacíos con 5.8% de ligante, lo que se considera adecuado. En contraste, la mezcla con diatomita no alcanza un valor recomendable. Esto se debe a que la diatomita posee un alto porcentaje de vacíos en su estructura, ya que sus partículas son altamente absorbentes, lo que demanda un mayor contenido de ligante para compensar dichos vacíos.

1.7. Base teórico y conceptual

1.7.1. Pavimento

Según Montejo (2002), señala que un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras en capas se asientan sobre la subrasante de la vía, la cual es preparada mediante el movimiento de tierras durante el proceso de construcción. Su función principal es resistir de manera adecuada los esfuerzos generados por las cargas repetitivas del tránsito a lo largo del periodo de vida útil para el cual fue diseñado el pavimento.

1.7.2. Funciones de la estructura del pavimento

De acuerdo a Menéndez (2009), las funciones de la estructura de pavimentos son las siguientes:

- Proporcionar a los usuarios circulación segura, cómoda y confortable sin demoras excesivas.
- Proporcionar a los vehículos acceso bajo respecto al clima
- Cumplir requerimientos medioambientales y estéticos
- Limitar ruido y la contaminación del aire

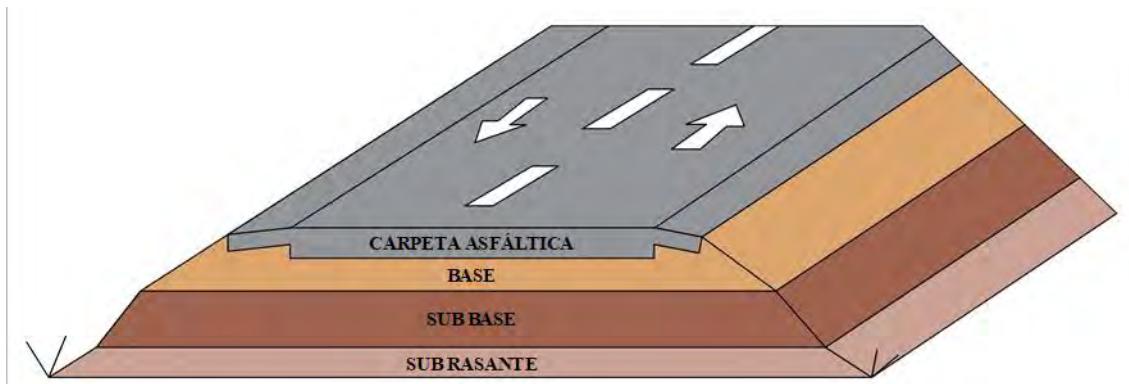
1.7.3. Clasificación de los pavimentos

Conforme a Menéndez (2009), en el ámbito nacional los pavimentos se clasifican en cuatro categorías principales: pavimentos flexibles, semi-rígidos o semi-flexibles, rígidos y articulados.

1.7.3.1. Pavimentos flexibles

De acuerdo a Menéndez (2009), el pavimento flexible se compone de una carpeta bituminosa que, por lo general, se apoya sobre dos capas no rígidas denominadas base y subbase. Sin embargo, en función de las características y requerimientos específicos de cada proyecto, es posible prescindir de alguna de estas capas.

Figura 1: Sección típica de un pavimento flexible.



Nota. Elaboración propia.

1.7.4. Funciones de las capas de un pavimento flexible

Según a Menéndez (2009), las funciones de las capas (Subbase granular, base granular y carpeta) del pavimento flexible son:

1.7.4.1. La subbase granular

- Función Económica: Esta capa cumple principalmente una finalidad de carácter económico. Si bien el espesor necesario para que los esfuerzos transmitidos a la subrasante no superen su resistencia podría lograrse empleando materiales de alta calidad en toda la estructura, resulta más conveniente disponer dichos materiales en las capas superiores y utilizar, en la parte inferior, materiales de menor calidad, los cuales suelen ser más accesibles en términos de costo. Esta disposición, aunque implica un incremento en el espesor total del pavimento, representa una alternativa más rentable.
- Capa de transición: Una subbase correctamente diseñada evita que los materiales de la base se mezclen con los de la subrasante. Del mismo modo, cumple la función de actuar como filtro, impidiendo que los finos provenientes de la subrasante contaminen la base y reduzcan su calidad.
- Disminución de las deformaciones: Las variaciones volumétricas de la subrasante, ocasionadas principalmente por cambios en el contenido de humedad (expansiones) o por condiciones extremas de temperatura como heladas, pueden ser absorbidas por la subbase, evitando que dichas deformaciones se manifiesten en la superficie de rodadura.
- Resistencia: La subbase tiene la función de recibir los esfuerzos generados por el tránsito, transmitidos desde las capas superiores, y distribuirlos de manera adecuada hacia la subrasante para mantener su estabilidad.
- Drenaje: En diversas situaciones, la subbase debe facilitar la evacuación del agua que ingrese a través de la carpeta o de las bermas, además de impedir la ascensión capilar que pueda afectar a la estructura.

1.7.4.2. La base granular

- Resistencia: La base granular cumple la función esencial de aportar solidez estructural, transmitiendo los esfuerzos generados por el tránsito hacia la subbase y la subrasante en niveles de intensidad adecuados.
- Función económica: En relación con la carpeta asfáltica, la base cumple un rol económico equivalente al que desempeña la subbase con respecto a la base, contribuyendo a optimizar costos sin comprometer la calidad estructural del pavimento.

1.7.4.3. Carpeta

- Superficie de rodadura: La carpeta asfáltica debe garantizar una superficie homogénea y estable para el tránsito vehicular, con la textura y el color apropiados, además de ofrecer resistencia frente al desgaste producido por la fricción del tránsito.
- Impermeabilidad: Su función incluye, en la medida de lo posible, impedir la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento.
- Resistencia: La capacidad a la tensión que presenta esta capa refuerza la función estructural del pavimento, incrementando su durabilidad y desempeño.

1.7.5. Mezclas asfálticas

De acuerdo a Rondón y Reyes (2015), las mezclas asfálticas se definen como la combinación de agregados pétreos con un ligante asfáltico. Generalmente, su producción se realiza en plantas mezcladoras; sin embargo, en determinadas circunstancias también pueden fabricarse directamente en el lugar de la obra. Entre los tipos de mezclas asfálticas se encuentran:

- Mezclas frías de granulometría abierta.
- Mezclas calientes de granulometría abierta.
- Mezclas frías de granulometría densa.
- Mezclas calientes de granulometría densa o concreto asfáltico.
- Arena - asfalto.
- Tratamientos superficiales.
- Lechadas asfálticas (Slurry and seal).
- Mezclas asfálticas drenantes.
- Microaglomerados en caliente o mezclas discontinuas.
- Mezclas templadas o de baja temperatura.
- Mezclas asfálticas modificados con aditivos.
- Agregados granulares estabilizados con asfalto en frío o caliente.

Las principales propiedades que se desean en las mezclas son:

- Resistencia bajo carga monotónica a tracción (estabilidad).
- Resistencia a las deformaciones permanentes.

- Resistencia a fatiga.
- Resistencia al deslizamiento.
- Impermeabilidad.
- Resistencia al envejecimiento.
- Durabilidad.
- Resistencia a las condiciones ambientales.
- Trabajabilidad.
- Economía.

Los diversos tipos de mezclas asfálticas están conformadas por agregados pétreos con granulometría y requisitos mínimos de calidad diferentes. Asimismo, presentan diferencias en cuanto a su función dentro de la estructura de pavimento y al tipo de material asfáltico o ligante que utilizan.

1.7.5.1. Mezclas asfálticas calientes

Las mezclas asfálticas se producen a elevadas temperaturas, empleando ligante asfáltico junto con agregados minerales. Su elaboración se realiza en plantas ya sean fijas o móviles equipadas con los sistemas requeridos para calentar adecuadamente cada uno de los componentes.

1.7.5.1.1. Agregados pétreos

De acuerdo a Rondón & Reyes (2015), “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, subbase y/o base granular. En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.^o 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.^o 4 y N.^o 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.^o 200).

Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada para conformar mezclas asfálticas en caliente, tal como indica la siguiente tabla:

Tabla 2: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).

Tamiz		Porcentaje que pasa		
Normal	Alterno	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0mm	1”	100	-	-
19,0mm	3/4”	80-100	100	-
12,5mm	1/2”	67-85	80-100	-
9,5mm	3/8”	60-77	70-88	100
4,75mm	N. ^o 4	43-54	51-68	65-87

2,00mm	N.º 10	29-45	38-52	43-61
425µm	N.º 40	14-25	17-28	16-29
180µm	N.º 80	8-17	8-17	9-19
75µm	N.º 200	4-8	4-8	5-10

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Los requisitos de calidad necesarios para los agregados pétreos, según la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos, se describen a continuación:

Tabla 3: Requisitos de calidad para los agregados gruesos CE.010 Pavimentos Urbanos.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Pérdida en sulfato de sodio	NTP 400.016:1999	12% máx.	10% máx.
Pérdida en sulfato de magnesio	NTP 400.016:1999	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángeles	NTP 400.019:2002	40% máx.	35% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas*	ASTM 4791	15% máx.	15% máx.
Partículas fracturadas	MTC E 210	Según tabla 5	Según tabla 5
Sales solubles	NTP 339.152:2002	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	NTP 400.021:2002	1,0% máx.	Según diseño
Adherencia	MTC E 519	+95	+95

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

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Tabla 4: Requisitos de calidad para los agregados finos CE.010 Pavimentos Urbanos.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	Según tabla 5	Según tabla 5
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	Según tabla 5	Según tabla 5
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.	6% mín.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 205	0,5% máx.	Según diseño

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Tabla 5: Requerimientos para caras fracturadas, equivalente de arena y angularidad del agregado fino CE.010 Pavimentos Urbanos.

Tipos de vías	Caras fracturadas		Equivalente de arena (%)	Angularidad (%)
	Espesor de capa			
	< 100 mm	> 100 mm		
Vías Locales y Colectoras	65/40	50/30	45 mínimo	30 mínimo
Vías Arteriales y Expresas	85/50	60/40	50 mínimo	40 mínimo

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Los requisitos de calidad necesarios para los agregados pétreos, según la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales EG-2013, se describen a continuación:

Tabla 6: Requisitos de calidad para los agregados gruesos Especificaciones Técnicas EG-2013.

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

Nota. Extraído de la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (2013).

Tabla 7: Requisitos de calidad para los agregados finos Especificaciones Técnicas EG-2013.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	0,5% máx.	0,5% máx.

Nota. Extraído de la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (2013).

1.7.5.1.2. Filler

Según el Manual de Carreteras - "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013" dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), el filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada y el cemento Portland, polvo de roca, polvo de escoria, ceniza fina o loes.

1.7.5.1.2.1 Influencia del filler en mezclas asfálticas

- El filler tiene la capacidad de aumentar la resistencia de las partículas a moverse dentro de la matriz de la mezcla asfáltica y/o funciona como un material activo cuando interactúa con el cemento asfáltico para cambiar las propiedades del mástic asfáltico (Kalkattawi, 1993).
- La adición de filler mineral aumenta el módulo resiliente de la mezcla de asfáltica (Anderson et al., 1992)
- Una cantidad excesiva de filler puede debilitar la mezcla asfáltica al aumentar la cantidad de asfalto necesaria para cubrir los agregados, lo que afecta la trabajabilidad de la mezcla asfáltica según Elliot et al. (1991) y Kandhal et al.(1998).
- Según Zulkati et al. (2012), el filler influye en la trabajabilidad de la mezcla asfáltica porque interactúa con el asfalto atribuible a las partículas finas del filler. También contribuye a modificar las propiedades viscoelásticas del mástic asfáltico, lo que influye en el rendimiento general de la mezcla asfáltica.

- La susceptibilidad térmica y la durabilidad del ligante asfáltico y la mezcla asfáltica pueden mejorarse mediante el filler (Geber & Gomze, 2010; Wu et al., 2011). Los efectos del filler también dependen de la granulometría.
- La influencia de los diferentes tipos de filler en las propiedades de la mezcla asfáltica varía según el tamaño de partícula, la forma, el área superficial, la textura superficial y otras propiedades fisicoquímicas (Bahia et al., 2011).

1.7.5.1.3. Materiales o ligantes asfálticos

Conforme a Rondón & Reyes (2015), los materiales asfálticos empleados en la construcción de pavimentos se obtienen a partir del proceso de destilación del petróleo crudo, tanto de manera natural como industrial. Dichos ligantes tienen la función de unir los agregados pétreos para conformar las mezclas asfálticas y son los responsables de brindar, a la capa asfáltica, resistencia mecánica bajo carga monotónica, estática y/o cíclica, impermeabilidad y durabilidad. Algunos tipos de asfaltos utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas son:

- Emulsiones asfálticas.
- Cemento asfáltico.
- Asfaltos rebajados.
- Asfaltos modificados y multigrados.
- Asfaltos espumados.
- Crudos pesados.
- Asfaltitas o asfaltos naturales.

1.7.5.1.3.1 Cemento Asfáltico

Según Menéndez (2009), los cementos asfálticos se obtienen por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionamiento, continuándose la destilación hasta obtener la consistencia deseada. Se aplica el vapor en el refinado para que los volátiles pesados puedan ser separados sin aumentar demasiado la temperatura, ya que temperaturas excesivamente altas reducen la ductilidad, aumentan la fragilidad y producen desdoblamiento, dando lugar a un producto menos homogéneo.

Según las Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones dada por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2010), tomando en consideración el medio ambiente nos da los grados de asfalto recomendados para diferentes condiciones variadas de temperatura.

Tabla 8: Grados de asfalto recomendados para diferentes condiciones variadas de temperatura.

Condición de Temperatura	Grados de Asfalto
Frío, temperatura media anual del aire $\leq 7^{\circ}\text{C}$	PEN 120/150, 85/100
Templado, temperatura media anual del aire entre 7°C y 24°C	PEN 85/100, 60/70
Caliente, temperatura media anual del aire $\geq 24^{\circ}\text{C}$	PEN 60/70, 40/50

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Según el Manual de Carreteras - "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013" dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), el empleo de cemento asfáltico será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 9: Selección del tipo de cemento asfáltico.

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

Nota. Extraído de la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (2013).

Las especificaciones de calidad correspondientes al cemento asfáltico se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 10: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.

Grado	Tipo	Ensayo	Grado Penetración									
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
			mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
Pruebas sobre el Material Bituminoso												
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304		40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312		232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306		100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302		99		99		99		99		99	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) (1)	MTC E 304		-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) (2)												
Solvente Nafta – Estándar			Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	AASHTO M 20		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno			Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h												
Pérdida de masa, %		ASTM D1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304		55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm (3)	MTC E 306			50		75		100		100		

Nota.

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

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

Extraído de la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (2013).

1.7.6. Diseño de mezclas asfálticas en caliente

La finalidad general es obtener la cantidad adecuada y óptima de asfalto para una determinada gradación de pétreos a ser usado en la mezcla asfáltica, como también proporciona información de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y establece las densidades y contenidos de vacíos necesarios para que cumpla con el fin determinado.

El ensayo se realiza de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017), con la norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, que se describe a continuación.

1.7.6.1. Objeto

A partir de la elaboración y compactación de probetas de mezcla bituminosa para pavimentación, con dimensiones nominales de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro, se busca establecer el diseño de una mezcla asfáltica y estimar sus diversos parámetros de desempeño empleando el procedimiento manual de Marshall (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

1.7.6.2. Finalidad y alcance

Este procedimiento operativo se aplica tanto a mezclas bituminosas densas elaboradas en laboratorio como a aquellas fabricadas en planta, siempre que incluyan agregados de hasta 25 mm de tamaño máximo, y también se utiliza en muestras recompactadas de pavimentos asfálticos.

Las probetas obtenidas mediante este método de moldeo y compactación se emplean en diversos ensayos físicos, entre ellos: estabilidad, flujo, resistencia a la tracción indirecta y determinación de módulos. Asimismo, sobre estos especímenes se realizan análisis de densidad y contenido de vacíos, con fines de diseño de mezcla y para evaluar la calidad de la compactación en campo (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

Nota 1. Las mezclas en estado no compactado se utilizan para determinar el peso específico teórico máximo.

Los valores obtenidos de estabilidad y flujo Marshall, junto con parámetros como la densidad, el contenido de vacíos de aire de la mezcla, los vacíos presentes en el agregado mineral o en su defecto, los vacíos llenados con asfalto constituyen la base para el diseño de mezclas en laboratorio, así como para la evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas. De igual forma, los ensayos de estabilidad y flujo Marshall pueden emplearse como método de control en los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta, además de servir como referencia para comparar mezclas distintas y analizar los efectos de acondicionamientos externos, como la presencia de agua.

La estabilidad y el flujo Marshall son propiedades características de las mezclas bituminosas, determinadas mediante especímenes compactados con geometría y procedimientos estandarizados. La estabilidad Marshall se define como la resistencia máxima que opone la mezcla a la deformación cuando se somete a una velocidad de carga constante. Este valor depende de factores como el tipo y gradación

del agregado, así como del grado y contenido del ligante asfáltico. Diversas entidades establecen parámetros de referencia para los valores mínimos de estabilidad. Por su parte, el flujo Marshall mide la deformación que experimenta la mezcla durante el ensayo de estabilidad. Aunque no existe un valor ideal, sí se reconocen rangos aceptables: cuando el flujo al contenido óptimo de asfalto supera el límite superior, la mezcla se considera excesivamente plástica o inestable, mientras que, si está por debajo del límite inferior, se clasifica como demasiado rígida (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

En el diseño de mezclas asfálticas, los valores obtenidos en los ensayos de estabilidad y flujo deben expresarse como el promedio de al menos tres probetas por cada nivel de contenido de ligante, considerando variaciones del 0,5% dentro de un intervalo específico de dosificación. Dicho rango suele determinarse en función de la experiencia previa y registros técnicos de los materiales utilizados; sin embargo, también puede establecerse mediante ajustes sucesivos hasta abarcar las propiedades esperadas de la mezcla. En el caso de mezclas densas, suele observarse un punto máximo de estabilidad correspondiente a cierta dosificación de ligante. Este valor puede combinarse con otros parámetros de interés, como el contenido de ligante asociado a la máxima densidad en la relación ligante–densidad, así como aquél que se vincula con los porcentajes óptimos de vacíos de aire y de vacíos del agregado mineral ocupados por asfalto (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

Los valores de estabilidad y flujo Marshall determinados en ensayos de laboratorio de campo, a partir de probetas fabricadas con mezclas provenientes de planta, pueden presentar variaciones notables respecto a los resultados de diseño obtenidos en laboratorio. Estas discrepancias se deben principalmente a las diferencias existentes en el proceso de mezclado entre ambos entornos, así como a factores relacionados con la eficiencia de la mezcla y el envejecimiento que esta experimenta (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

Las variaciones notorias en los valores de estabilidad y flujo Marshall, ya sea entre distintos ensayos o en los promedios obtenidos de un conjunto amplio de especímenes elaborados con mezclas provenientes de planta, pueden evidenciar deficiencias en el proceso de mezclado, aplicación inadecuada de las técnicas de ensayo, alteraciones en la gradación, modificaciones en el contenido de ligante o fallas en el funcionamiento de la planta. Por tal motivo, es necesario identificar la causa de dicha variabilidad y aplicar las medidas correctivas correspondientes (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

Los especímenes suelen elaborarse siguiendo el procedimiento descrito en este método; no obstante, también pueden fabricarse mediante otros sistemas de compactación. Dichas alternativas pueden generar variaciones en las propiedades de resistencia respecto a las obtenidas con el método Marshall.

Asimismo, los valores de estabilidad y flujo Marshall pueden determinarse a partir de testigos extraídos directamente del pavimento con fines de análisis y evaluación. Sin embargo, los resultados obtenidos de esta manera no son comparables con los especímenes preparados en laboratorio y, por lo tanto, no deben considerarse válidos para fines de especificación ni de aceptación (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

1.7.6.3. Referencias normativas

ASTM-D6926: “Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus”.

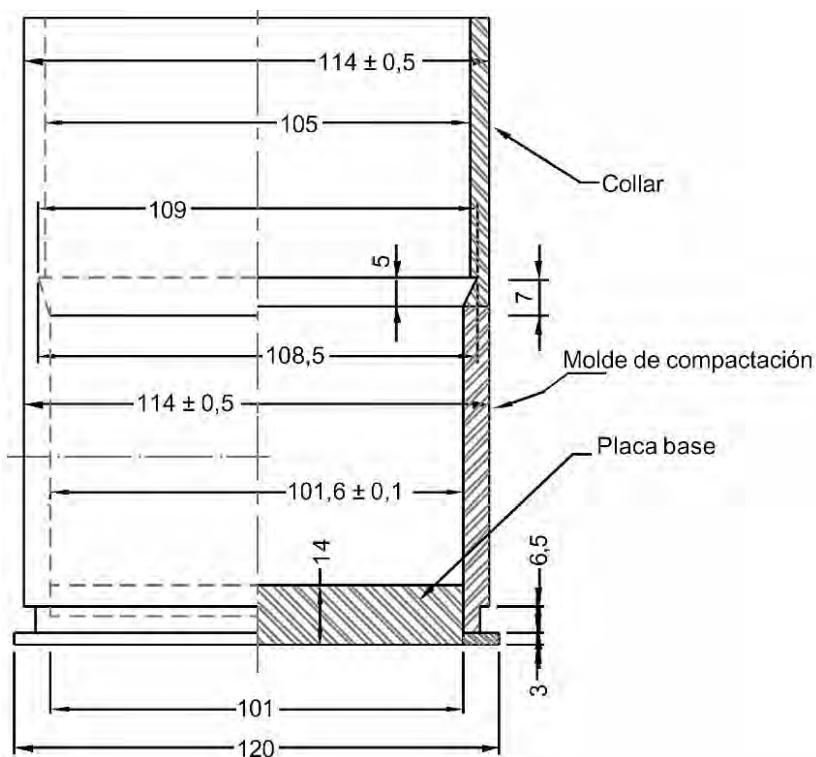
ATM D 6927: “Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures”.

1.7.6.4. Equipos, materiales e insumos

1.7.6.4.1. Equipos para la preparación

- Los moldes ensamblados para la elaboración de especímenes, que incluyen moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión, deberán cumplir con las especificaciones dimensionales y constructivas mostradas en la figura correspondiente.

Figura 2: Molde de Compactación.



Nota. Extraído del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017).

- El equipo de extracción de especímenes debe disponer de un disco de acero que se ajuste al molde sin presentar deformaciones, con un diámetro mínimo de 100 mm y un grosor no menor de 12,5 mm. Este componente se utiliza para retirar los especímenes compactados de los moldes

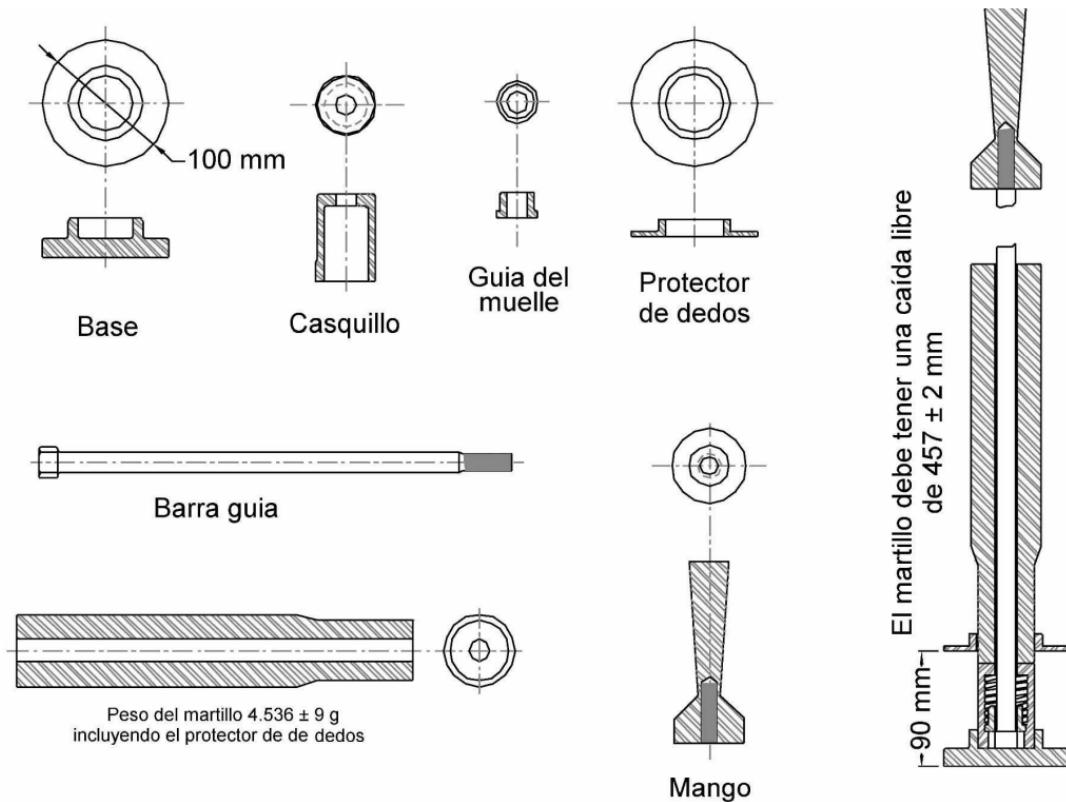
mediante el empleo del collar correspondiente. Asimismo, es posible recurrir a otros mecanismos de extracción adecuados, como una prensa hidráulica, siempre que se asegure que durante la operación el espécimen mantenga su forma original sin alteraciones (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

- Martillos de Compactación (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).:

Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo I) o manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente o a mano como se muestra en la Figura 2, tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm (ver la siguiente figura para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra en la siguiente figura.

Nota 2. Los martillos manuales de compactación deberán ser equipados con una protección de seguridad para los dedos.

Figura 3: Martillo de Compactación.



Nota. Extraído del *Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017)*.

Martillo de Compactación con Manubrio Fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente (Tipo 3), deberá tener la cara circular de

apisonado y un peso deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con una caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm. Posee un mecanismo de rotación en la base. La velocidad de rotación de la base y la razón de golpes será de 18 a 30 rpm y 64 ± 4 golpes por minuto respectivamente.

Mejores resultados comparativos se obtendrán compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin la operación de ningún otro.

Nota 3. El equipo Marshall tipo 3 puede encontrarse en presentaciones que incluyen más de un martillo. Cuando se utilizan varios martillos de manera simultánea, la densidad del espécimen puede verse alterada. Para garantizar resultados más uniformes y comparables, es recomendable realizar la compactación de todos los especímenes con un único martillo y sin intervención de otro adicional.

- Pedestal de Compactación: Este elemento está conformado por un bloque de madera de $203,2 \times 203,2$ mm y una longitud aproximada de 457 mm, recubierto en su parte superior con una placa de acero de $304,8 \times 304,8$ mm y 25,4 mm de espesor. El material del bloque puede ser roble, pino amarillo u otra madera cuya densidad promedio oscile entre 670 y 770 kg/m³. Para asegurar estabilidad, el bloque se fija mediante pernos y ángulos metálicos a una base de concreto, mientras que la placa de acero debe quedar firmemente adherida al extremo superior. Una vez ensamblado, el pedestal debe instalarse garantizando la verticalidad del poste y la nivelación de la placa.
- Sostén de Molde para Espécimen: En los compactadores de martillo único, este soporte se coloca directamente sobre el pedestal, de manera que el molde quede alineado con el centro del mismo. En cambio, en los compactadores de múltiples martillos, la disposición del soporte no necesariamente coincide con el eje del pedestal. Su función principal es mantener fijo el molde, el collar y la placa de base durante todo el proceso de compactación.
- Hornos, cacerolas para calentado o placas calentadoras: Los hornos deberán contar con circulación de aire o control termostático, mientras que las cacerolas y placas calefactoras se utilizan para llevar a la temperatura requerida los agregados, el ligante bituminoso, los moldes, los martillos de compactación y otros implementos. Esta temperatura debe mantenerse dentro de un rango de ± 3 °C respecto al valor establecido para mezcla y compactación. A fin de evitar sobrecalentamientos localizados, se recomienda emplear protecciones adecuadas o baños de arena sobre la superficie de las placas.
- Equipo Misceláneo: Se sugiere el uso de mezcladoras mecánicas, siempre que permitan mantener la mezcla en el rango de temperatura exigido, producir un material homogéneo y con recubrimiento uniforme en la cantidad necesaria y en un tiempo adecuado, garantizando además que todo el material pueda ser recuperado sin pérdidas.

Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano, u otros adecuados.

Se podrán emplear recipientes cerrados destinados al calentamiento del material bituminoso, entre ellos latas tipo Gill, vasos, potes de vaciado u otros tipos de bandejas metálicas.

Las herramientas utilizadas para la mezcla comprenderán cucharones de acero como el de punta Mason con borde redondeado, cucharas comunes o espátulas, apropiadas para el batido y mezclado manual.

En cuanto a la medición de la temperatura de los agregados, el asfalto y las mezclas bituminosas, se recomienda el uso de termómetros calibrados, preferentemente de vidrio o de dial con carcasa metálica, con un rango operativo de 10 a 200 °C y una precisión de ± 3 °C.

Se deberá disponer de una balanza con capacidad de aproximación mínima de 0,1 g, necesaria para el pesado de las bachadas de mezcla.

El personal que manipule equipos a alta temperatura deberá emplear guantes protectores.

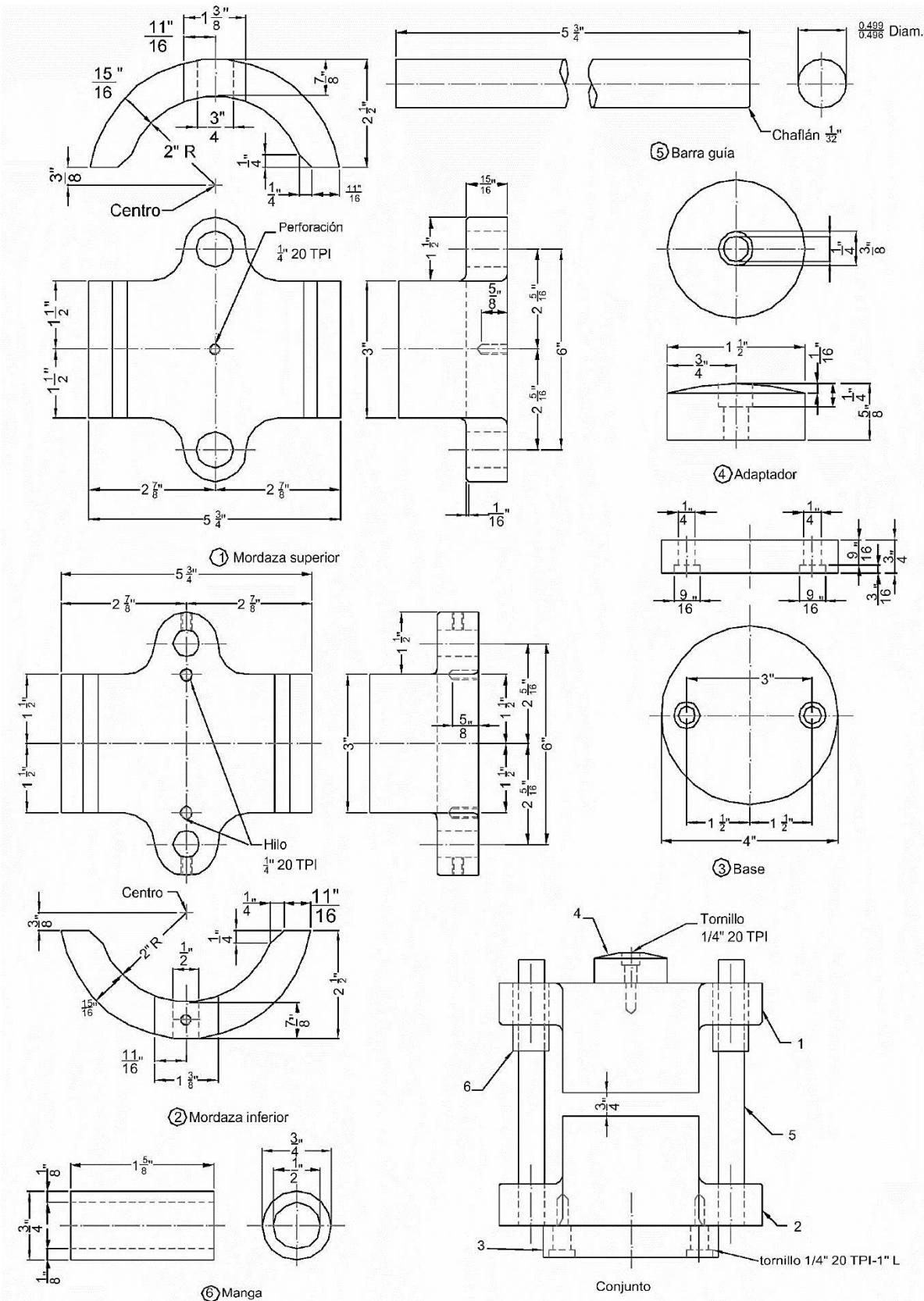
Para la identificación de los especímenes se utilizarán crayones de marcado.

Asimismo, será indispensable contar con un cucharón de base plana para el bachado de agregados y una cuchara de mango largo que permita introducir la mezcla en los moldes de los especímenes.

1.7.6.4.2. Equipo para el ensayo de estabilidad y flujo

- Cabezal de Ruptura (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

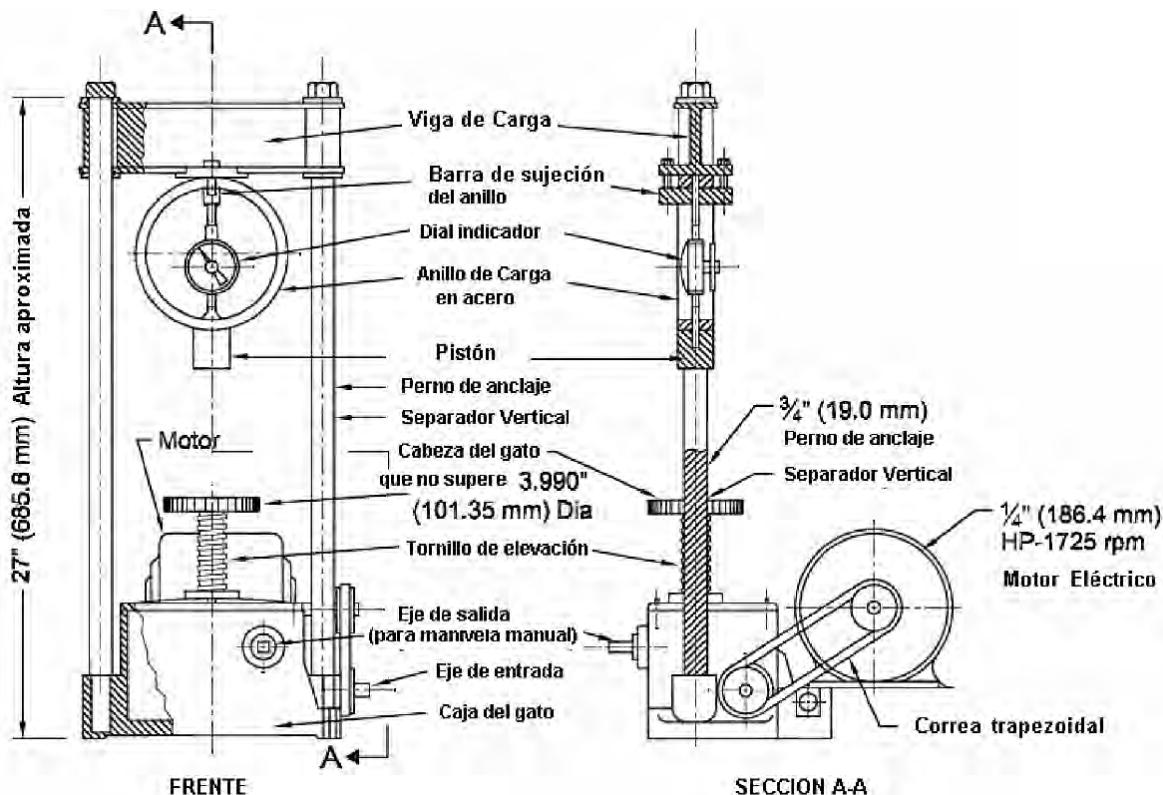
Figura 4: Cabezal de Rotura.



Nota. Extraído del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017).

- Máquina de Carga a Compresión (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

Figura 5: Máquina de Carga a Compresión.



Nota. Extraido del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017).

- Aparato medidor para registrar cargas (anillo dinamométrico de 22 240 N o 5000 lbf).
- Equipo medidor para cuantificar el flujo.
- Baño de agua con control térmico de ± 1 °C
- Estufa u horno regulada para conservar la temperatura con tolerancia de ± 1 °C.
- Cámara de aire climatizada para mezclas con asfaltos líquidos, regulada automáticamente a 25 ± 1 °C.
- Instrumentos térmicos con exactitud de 0,2 °C.

1.7.6.5. Procedimiento

1.7.6.5.1. Especímenes de Ensayo

- Los áridos deben ser sometidos a un proceso de secado hasta alcanzar un peso estable. Este procedimiento se efectúa en horno a una temperatura controlada entre 105 °C y 110 °C. Una vez finalizado el secado, los materiales se clasifican en seco utilizando tamices, con el fin de obtener las fracciones granulométricas necesarias. Se recomienda, como mínimo, emplear las

fracciones que se indican posteriormente (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017):

- Desde 25 hasta 19 mm (equivalente a 1 a $\frac{3}{4}$ de pulgada).
- Desde 19 hasta 12,5 mm (equivalente a $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulgada).
- Desde 12,5 hasta 9,5 mm (equivalente a $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada).
- Desde 9,5 hasta 4,75 mm (equivalente a $\frac{3}{8}$ a Nº 4).
- Desde 4,75 hasta 2,36 mm (equivalente Nº 4 a Nº 8).
- Pasante a 2,36 mm (material que pasa por el tamiz Nº 8).

- Determinación de temperaturas de mezcla y compactación (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017):

El cemento asfáltico destinado a la elaboración de las probetas deberá calentarse hasta alcanzar viscosidades de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s en la fase de mezclado y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s en la fase de compactación.

Nota 4. La determinación de temperaturas de mezclado y compactación en función de las viscosidades indicadas ($0,17 \pm 0,02$ Pa.s y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s) no resulta aplicable en el caso de asfaltos modificados. En tales situaciones, el usuario deberá coordinar con el fabricante para definir los intervalos adecuados de temperatura tanto para la mezcla como para la compactación. (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).

- Los especímenes pueden elaborarse a partir de una sola bachada o de varias, siempre que la cantidad de material sea suficiente para obtener tres o cuatro probetas.
- En recipientes separados se debe pesar la proporción necesaria de cada fracción de agregado, de modo que se prepare una mezcla capaz de generar una, dos, tres o cuatro probetas compactadas con una altura de $63,5 \pm 2,5$ mm (aproximadamente 1200, 2400, 3600 o 4800 g, respectivamente). Posteriormente, los agregados de cada bachada deben colocarse en recipientes y ser calentados, ya sea en una estufa o sobre una plancha térmica, a una temperatura superior, pero sin sobrepasar la establecida para el proceso de mezclado en el ítem correspondiente. La determinación de las temperaturas de mezcla y compactación establece un rango superior a 28 °C en el caso de mezclas elaboradas con cemento asfáltico y brea, y mayor a 14 °C cuando se emplean asfaltos cut back. Para iniciar el procedimiento, se debe verter el agregado previamente calentado en el recipiente de mezclado y realizar un mezclado en seco utilizando cuchara o pala por un lapso aproximado de 5 segundos. Posteriormente, se forma una cavidad en el agregado seco y en ella se incorpora, a la temperatura de mezcla correspondiente, la cantidad precisa de material bituminoso previamente pesada. En el caso particular de las mezclas con asfaltos cut back, es necesario introducir la espátula en el recipiente y registrar el peso total, que incluye los componentes de la mezcla, el bowl y la

espátula, antes de proceder con el mezclado. Durante todo el proceso se debe tener especial cuidado para evitar pérdidas del material tanto en la etapa de mezclado como en la de manipulación posterior. En este momento, la temperatura de la mezcla debe mantenerse dentro de los límites señalados en el ítem de determinación de temperaturas de mezcla y compactación. Finalmente, se procede a la integración del material bituminoso con los agregados de manera rápida, asegurando un recubrimiento total, lo que implica un tiempo de 60 segundos en el caso de bachadas individuales y de 120 segundos cuando se preparan bachadas destinadas a múltiples especímenes.

- Las bachadas simples deben colocarse en recipientes metálicos cubiertos y mantenerse en horno a una temperatura comprendida entre 8 °C y 11 °C por encima de la establecida para la compactación (según el ítem de determinación de temperaturas), durante un tiempo no menor a 1 hora ni mayor a 2 horas.
- En el caso de muestras compuestas por varias bachadas, se recomienda extender toda la mezcla sobre una superficie limpia y no absorbente, homogeneizar manualmente y proceder al cuarteo hasta obtener el tamaño requerido para conformar el espécimen de la altura indicada. Para cementos asfálticos y alquitrán, las porciones obtenidas se colocan en recipientes metálicos cubiertos y se introducen en un horno ventilado a la temperatura definida en el ítem de preparación de mezcla, manteniéndolas en esas condiciones entre 1 y 2 horas. En cuanto a las mezclas con asfalto cut back, estas deben permanecer en el bowl de mezclado dentro de un horno ventilado, regulado aproximadamente 11 °C por encima de la temperatura de compactación, hasta que se alcance una pérdida de solvente equivalente al 50 % de su peso inicial. Durante el curado, la mezcla puede ser agitada en el mismo recipiente para favorecer la evaporación del solvente, cuidando siempre de no perder material. El control de la pérdida de peso debe realizarse mediante pesadas periódicas: inicialmente cada 15 minutos y, a medida que se aproxima al valor calculado de pérdida del 50 %, con intervalos menores a 10 minutos.
- Otros tipos de materiales bituminosos o mezclas producidas en planta pueden requerir métodos de curado específicos.

Nota 5. Someter las mezclas a un período de calentamiento previo a la compactación puede generar especímenes con propiedades distintas a los que se compactan inmediatamente tras el mezclado, dado que el método original de Marshall se basa en un procedimiento sin curado (el criterio Marshall Original está basado en un procedimiento sin curado).

- Compactación de las probetas o especímenes (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).
- El molde ensamblado y la superficie del martillo de compactación deben limpiarse a fondo y precalentarse, ya sea sumergiéndolos en agua hirviendo, colocándolos en horno o sobre una plancha calentadora a temperaturas entre 90 y 150 °C. Antes de introducir la mezcla, se coloca

un pedazo de papel no absorbente recortado al tamaño de la base del molde. La mezcla se deposita en el molde y se compacta inicialmente con una espátula calentada: se golpea vigorosamente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Posteriormente, se coloca otra hoja de papel no absorbente sobre la superficie superior de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación debe mantenerse dentro de los límites establecidos en el ítem de determinación de temperaturas de mezcla y compactación.

- El molde ensamblado se debe colocar en el pedestal de compactación utilizando el sujetador correspondiente, y aplicar el número de golpes indicados con el martillo especificado. Una vez completada esta fase, se retiran la placa de base y el collar, se volteá el molde y se vuelve a ensamblar, aplicando la misma cantidad de golpes en la cara opuesta del espécimen. Tras finalizar la compactación, se retiran nuevamente el collar y la placa de base, permitiendo que el espécimen se enfríe lo suficiente para evitar daños. El enfriamiento dentro del molde puede acelerarse sumergiéndolo en agua fría, mientras que, para facilitar la extracción, tanto el molde como el espécimen pueden sumergirse brevemente en un baño de agua caliente para calentar el metal y minimizar la deformación de la probeta. Posteriormente, el espécimen debe colocarse con cuidado sobre una superficie plana y suave, permitiendo que alcance la temperatura ambiente; este proceso puede prolongarse toda la noche o acelerarse con la ayuda de un ventilador.
- En el caso de la compactación con martillo manual, se debe sostener el eje del martillo de manera lo más perpendicular posible respecto a la base del molde ensamblado. Según el procedimiento original de Marshall, no se debe emplear ningún dispositivo mecánico que mantenga el martillo en posición vertical durante la compactación.

Nota 6. Se debe limpiar y lubricar ligeramente el vástago del martillo antes de iniciar los ensayos.

- Con respecto a los ensayos de estabilidad y flujo (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017).
- Se evaluará un mínimo de tres espécímenes que cuenten con el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, así como igual tipo y proporción de filler, y provengan de la misma fuente de ligante, con igual grado y cantidad. Todos los espécímenes deberán presentar condiciones uniformes de preparación, incluyendo temperatura de mezcla, compactación y enfriamiento.
- Tras la compactación, los espécímenes deben dejarse enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, colocándolos sobre una superficie plana y suave. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen siguiendo el método D2726, asegurando que los valores de cada contenido de ligante se encuentren dentro de $\pm 0,020$ respecto al promedio, según lo indicado en D6926.
- El espesor de los espécímenes se medirá conforme a la norma MTC E 507.

Los especímenes podrán acondicionarse para el ensayo una vez alcanzada la temperatura ambiente. Los ensayos deben realizarse dentro de las 24 horas posteriores a la compactación. Para llevar los especímenes a la temperatura requerida se puede recurrir a su inmersión en agua por 30 a 40 minutos o colocarlos en horno por 120 a 130 minutos.

- Mantener la temperatura del baño o del horno en 60 ± 1 °C para mezclas con cemento asfáltico, 49 ± 1 °C para alquitrán con caucho y 38 ± 1 °C para alquitrán simple.
- Los especímenes preparados con asfalto líquido deben colocarse en el baño de aire durante 120 a 130 minutos, manteniendo el aire a 25 ± 1 °C.
- Antes de iniciar el ensayo, limpiar completamente las líneas guías y las superficies internas del cabezal. Lubricar las guías de manera que el segmento superior del cabezal se desplace libremente. La temperatura del cabezal debe mantenerse entre 20 y 40 °C. En caso de utilizar baño de agua, retirar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
- Retirar un espécimen del agua, horno o baño de aire (en el caso del baño de agua secar el exceso con toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Encajar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto en la máquina de carga. Si se utiliza flujómetro, posicionarlo sobre una línea guía y ajustarlo firmemente contra el segmento superior durante el ensayo.
- El tiempo transcurrido desde que se retira el espécimen del baño hasta la determinación de la carga máxima no debe superar 30 segundos. Aplicar la carga de manera constante a 50 mm/min hasta que la lectura de carga comience a descender según el dial. Registrar la máxima carga indicada o convertirla a partir de la lectura máxima del micrómetro, obteniendo así la estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro o anotar la lectura en el momento en que la carga máxima comienza a decrecer. El valor de flujo generalmente se expresa en incrementos de 0,25 mm. Este procedimiento puede requerir la participación de dos personas para ejecutar el ensayo y registrar los datos correctamente.

1.7.6.6. Cálculos e informes

1.7.6.6.1. Cálculos

Los especímenes moldeados en laboratorio deben cumplir con la especificación de espesor de $63,5 \pm 2,5$ mm. Aquellos especímenes que se encuentren dentro de este rango de tolerancia pueden ajustarse utilizando el volumen del espécimen como base para la corrección. De manera similar, las estabilidades obtenidas de núcleos extraídos en campo, que presenten variaciones significativas en el espesor, también pueden ser corregidas. No obstante, los resultados que requieran correcciones excesivas deben ser interpretados con precaución. Para más detalles, consultar la tabla que muestra los factores de corrección, y utilizar la razón de correlación según lo indicado en la metodología (Norma MTC E 504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall, 2017):

$$A = B \times C$$

Donde:

A = estabilidad corregida.

B = medida de la estabilidad (carga).

C = razón de correlación de la tabla siguiente.

Tabla 11: Factores de Estabilidad de Correlación (A).

Volumen del espécimen, cm³ (B)	Espesor del espécimen (B)		Razón de correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93

547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 -610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

Nota.

(A) Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para 2 ½ “ (63,5 mm) del espécimen.

(B) La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4” (101,6 mm)

Extraído del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017).

1.7.6.7. Informe

- Número de identificación de la muestra (laboratorio, planta o núcleo de pavimento).
- Tipo, origen y grado del material bituminoso.
- Clasificación, procedencia y gradación de los agregados.
- Método y duración del curado previo a la compactación.
- Tipo de martillo (manual, fijo, operado mecánicamente, con base plana o inclinada).
- Cantidad de impactos aplicados por cada cara.
- Temperatura utilizada durante el mezclado.
- Temperatura aplicada en la compactación.
- Método y duración del curado post-mezclado.
- Peso específico bulk de cada espécimen y promedio general.
- Altura de los especímenes de prueba, con precisión de 0,25 mm.
- Valores individuales y promedio de estabilidad Marshall (con o sin corrección según corresponda) con aproximación de 50 N.
- Resultados individuales y promedio de flujo Marshall, con unidades de 0,25 mm.
- Temperatura durante el ensayo de estabilidad y flujo.

Para las mezclas asfálticas considerando del tipo vías expresas, con un EAL $\geq 10^6$, tránsito pesado y con 75 golpes en cada cara de la probeta, la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos presenta los siguientes requisitos:

Tabla 12: Requisito para mezclas asfálticas en caliente según CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	
	Mínimo	Máximo
Estabilidad Mínima, kN	8.16	
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	Según tabla 13	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Tabla 13: VMA mínimo según valores de vacíos llenos de aire.

Malla	VMA mínimo, porcentaje		
	Porcentaje vacíos de diseño *		
	3.00%	4.00%	5.00%
1.18 mm N°16	21.50%	22.50%	23.50%
2.36 mm N°8	19.00%	20.00%	21.00%
4.75 mm N°4	16.00%	17.00%	18.00%
9.50 mm 3/8"	14.00%	15.00%	16.00%
12.50 mm 1/2"	13.00%	14.00%	15.00%
19.00 mm 3/4"	12.00%	13.00%	14.00%
25.00 mm 1"	11.00%	12.00%	13.00%
37.50 mm 1.5"	10.00%	11.00%	12.00%
50.00 mm 2"	9.50%	10.50%	11.50%
63.00 mm 2.5"	9.00%	10.00%	11.00%

*Interpolación para valores de vacíos llenos de aire comprendidos entre los indicados.

Nota. Extraído de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

Para las mezclas asfálticas considerando clase de mezcla A, tránsito pesado y con 75 golpes en cada cara de la probeta, la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 presenta los siguientes requisitos:

Tabla 14: Requisito para mezclas asfálticas en caliente según Especificaciones Técnicas EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	
	Mínimo	Máximo
Estabilidad Mínima, kN	8.15	
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	Según tabla siguiente	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00

Nota. Extraido de la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (2013).

Tabla 15: VMA mínimo según valores de vacíos llenos de aire.

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %
2.36 mm N°8	21
4.75 mm N°4	18
9.50 mm 3/8"	16
12.50 mm 1/2"	15
19.00 mm 3/4"	14
25.00 mm 1"	13
37.50 mm 1 1/2"	12
50.00 mm 2"	11.2

Nota. Extraido de la Norma Técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (2013).

1.7.7. Propiedades físico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas en caliente.

1.7.7.1. Estabilidad

Según Cáceres (2007), la estabilidad de un pavimento asfáltico se refiere a su habilidad para soportar desplazamientos y deformaciones frente a las cargas del tránsito. Un pavimento estable conserva su forma y superficie uniforme ante cargas repetidas, mientras que un pavimento con poca estabilidad tiende a presentar ahueamientos, ondulaciones y otras manifestaciones de alteración en la mezcla.

Asimismo, Cáceres (2007) menciona que la estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna entre las partículas del agregado depende de propiedades como su forma y la textura de su superficie. Por su parte, la cohesión se origina a partir de la capacidad del

asfalto para ligar los agregados. Un nivel adecuado de fricción y cohesión en la mezcla evita que las partículas se desplacen entre sí bajo las fuerzas del tránsito. En términos generales, cuanto más angulares sean las partículas y más rugosa su superficie, mayor será la estabilidad de la mezcla.

1.7.7.2. Flujo

De acuerdo a Cáceres (2007), el flujo se cuantifica en centésimas de pulgada y refleja la deformación que experimenta la briqueta, indicada por la reducción en su altura vertical. Además, se señala que las mezclas con valores bajos de flujo y elevadas cifras de estabilidad tienden a ser demasiado rígidas y frágiles para un pavimento en servicio. Por el contrario, las mezclas que presentan un flujo elevado son excesivamente plásticas, mostrando mayor propensión a deformarse bajo las cargas del tránsito.

1.7.7.3. Parámetros volumétricos

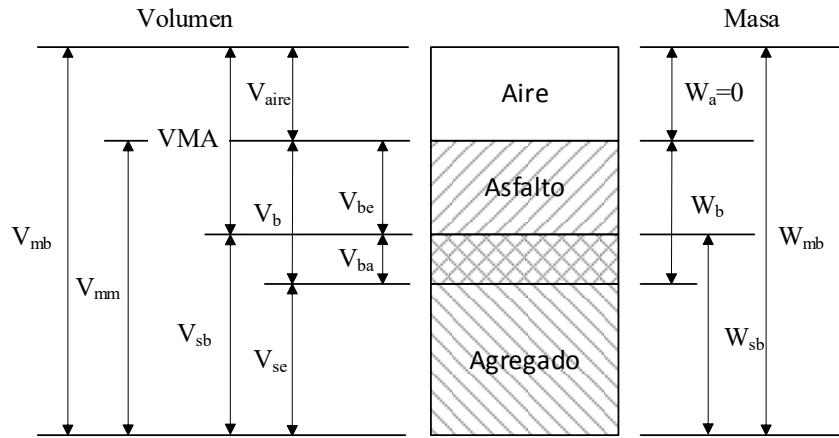
El comportamiento de las mezclas asfálticas está influenciado por las proporciones de asfalto, agregado pétreo y aire. Las proporciones volumétricas, o estrictamente hablando, los parámetros volumétricos de la mezcla son los vacíos de aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (VMA), y los vacíos llenos con asfalto (VFA) (Garnica et al., 2005).

1.7.7.3.1. Diagrama de fases

En una mezcla asfáltica se tienen tres fases; la sólida, que está formada por el agregado mineral; la líquida, que es el asfalto; y la fase gaseosa, que comprende al aire. Debido a que el agregado mineral, que forma parte de la mezcla asfáltica es poroso, una parte del asfalto es absorbido por los poros del agregado, por tanto, una porción del agregado y del asfalto comparten espacio; a esta porción se le llama asfalto absorbido. La consideración de la absorción de asfalto permite subdividir la fase de volumen del asfalto en volumen de asfalto efectivo y volumen de asfalto absorbido; y la fase de volumen del agregado, en volumen de agregado total y volumen de agregado efectivo. Con base en lo anterior y con relación a la siguiente figura se tiene que la suma de los volúmenes individuales (V_b+V_s) es mayor que su volumen combinado (V_{be+s}).

La siguiente figura muestra en forma esquemática el diagrama de fases utilizado para describir las propiedades de masa y volumen de una mezcla asfáltica compactada.

Figura 6: Diagrama esquemático de fases de una mezcla asfáltica compactada.



Nota. Extraído de Asphalt Institute (1996).

Donde:

V_{mb} = volumen total de la mezcla compactada

V_{mm} = volumen de la mezcla sin vacíos

VMA=volumen de vacíos en el agregado mineral

V_{sb} = volumen total del agregado

V_{se} = volumen efectivo de agregado

V_{be} = volumen efectivo de asfalto

V_{ba} = volumen de asfalto absorbido

V_{aire} = volumen de aire

W_{mb} = masa total de la mezcla compactada

W_a = masa del aire

W_b = masa del asfalto

W_{sb} = masa total del agregado

1.7.7.3.2. Parámetros volumétricos

Los tres parámetros que han sido ampliamente usados y que forman parte de los requisitos de diseño de mezclas, son los vacíos en el agregado mineral (VMA); vacíos llenos con asfalto (VFA); y los vacíos de aire (Va). Vacíos de aire, Va. Los vacíos totales corresponden al volumen de los pequeños espacios de aire existentes entre las partículas de agregado, los cuales se encuentran recubiertos por el asfalto en una mezcla asfáltica compactada. Por otro lado, los vacíos en el agregado mineral (VMA) representan el volumen del espacio intergranular libre entre las partículas de agregado dentro de la mezcla asfáltica compactada. Vacíos llenos con asfalto, VFA. Es la porción del volumen de espacio vacío intergranular (VMA) que es ocupado por el asfalto efectivo (Asphalt Institute, 1996).

Con referencia a la figura anterior, las siguientes relaciones pueden ser derivadas:

1.7.7.3.2.1 Vacíos de aire

Es la relación entre el volumen de aire y el volumen total de la mezcla, esta relación es análoga a los vacíos de aire en Mecánica de Suelos. Se expresa como porcentaje:

$$V_a = \frac{V_{aire}}{V_{mb}} \times 100$$

1.7.7.3.2.2 Vacíos en el agregado mineral

Es la relación entre el volumen de asfalto efectivo más el volumen de aire y el volumen total de la mezcla compactada; esta relación es análoga al concepto de porosidad en Mecánica de Suelos. Se expresa como porcentaje:

$$VMA = \frac{V_{be} + V_{aire}}{V_{mb}} \times 100$$

1.7.7.3.2.3 Vacíos llenos con asfalto

Es la relación entre el volumen de asfalto efectivo y el volumen de vacíos en el agregado mineral de una mezcla compactada; esta relación es análoga al concepto de grado de saturación en Mecánica de Suelos. Se expresa como porcentaje:

$$VFA = \frac{V_{be}}{V_{be} + V_{aire}} = \frac{V_{be}}{VMA} = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

1.7.8. Resistencia a la tensión indirecta

Según Garrote (2006), el ensayo a resistencia a la tensión indirecta es ampliamente utilizado en ingeniería, ya que permite determinar las propiedades mecánicas de los materiales, es decir sus características de resistencia y deformabilidad, y a la vez nos sirve de herramienta para verificar las especificaciones de aceptación o rechazo. Otras características, no menos importantes, que pueden determinarse mediante el ensayo de tracción son la tenacidad, la deformación unitaria de rotura, la tensión máxima y el módulo de rigidez. No obstante, en el campo de las mezclas bituminosas no existe un ensayo estandarizado a tracción directa, que permita determinar estas propiedades mecánicas, mediante el ensayo normado por AASHTO T 283 y MTC E 522 Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.

1.7.9. Resistencia a la compresión e índice resistencia retenida

La prueba se lleva a cabo conforme al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013), siguiendo el procedimiento MTC E 518 sobre el efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas. El propósito de este método es evaluar la disminución de la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas con cemento asfáltico como

consecuencia de la exposición al agua. Para ello, se obtiene un índice numérico que representa la reducción de la resistencia mediante la comparación entre especímenes recién moldeados y curados y especímenes duplicados que han sido sumergidos en agua bajo condiciones controladas.

1.7.10. Módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente.

El módulo de rigidez se determinará mediante los nomogramas de Shell y fórmulas del Asphalt Institute descrito en el libro Pavement Analysis and Design teniendo por autor a Yang Huang (2004).

1.7.10.1. Nomograma de Shell

Shell utiliza el término "módulo de rigidez" en lugar de módulo dinámico. Menciona que para la determinación de módulo de rigidez se usan dos nomogramas, el primer nomograma para determinar el módulo de rigidez del betún o asfalto que está en función de la temperatura, el tiempo de carga y las características del betún o asfalto; El segundo nomograma se utiliza posteriormente para calcular el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica, considerando como variables el módulo de rigidez del asfalto o betún, el contenido volumétrico del asfalto o betún y el porcentaje volumétrico del agregado mineral.

Las características del asfalto se expresan como índice de penetración, PI, definido como:

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$$

En este caso, A representa la susceptibilidad a la temperatura, definida como la pendiente de la recta que relaciona el logaritmo de la penetración (pen) con la temperatura, o

$$A = \frac{\log(\text{pen en } T_1) - \log(\text{pen en } T_2)}{T_1 - T_2}$$

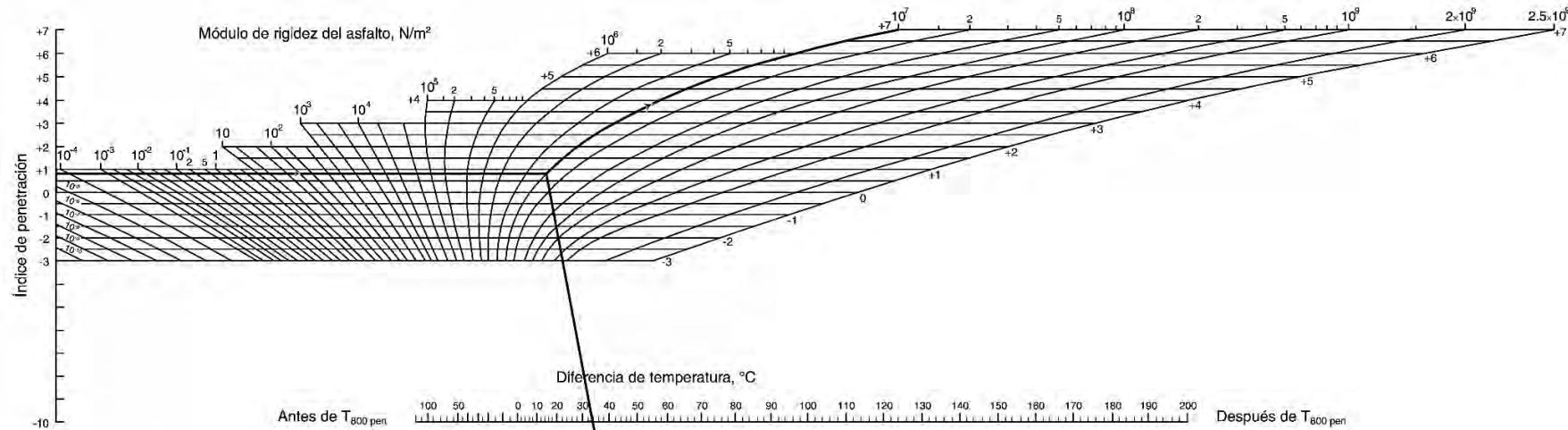
Donde T_1 y T_2 son dos temperaturas a las que se miden las penetraciones.

Una temperatura conveniente para usar es la temperatura en el punto de reblandecimiento del anillo AASHTO (1989) en "T53-84 Punto de reblandecimiento de asfalto (betún) y alquitrán en etilenglicol (anillo y bola)". Se trata de una temperatura de referencia en la cual todos los betunes presentan una viscosidad o penetración similar, cercana a 800. Reemplazando T_2 en la siguiente ecuación por $T_{R&B}$ y pen en T_2 por 800 se tiene

$$A = \frac{\log(\text{pen en } T_1) - \log 800}{T_1 - T_{R&B}}$$

La siguiente figura muestra el nomograma para determinar el módulo de rigidez de los betunes (Van der Poel, 1954). Los tres elementos que se deben tomar en cuenta son el tiempo de aplicación de la carga, la temperatura y el índice de penetración. La temperatura empleada corresponde a la temperatura normalizada, definida como la diferencia entre la temperatura de prueba y la temperatura cuando la penetración es 800, o $T_{R&B}$.

Figura 7: Nomograma para determinar el módulo de rigidez del asfalto



Condiciones de trabajo

Temperatura: 19.0°C

Tiempo de carga: 0.02 s

Características del asfalto en la mezcla

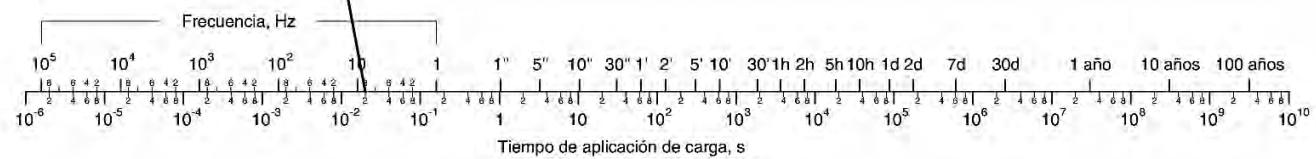
$$t_{500\text{pen}} = 52.8^\circ\text{C}$$

$$\text{PI} = 0.8$$

Conecte 0.02 s en la escala de tiempo con una diferencia de temperatura de 52.8 – 19.0°C en la escala de temperatura.

Registre la rigidez en la cuadrícula con PI = 0.

La rigidez del asfalto determinado con el nomograma es $S_b = 1.0 \times 10^7 \text{ N/m}^2$



Nota. Adaptación de Van der Poel.

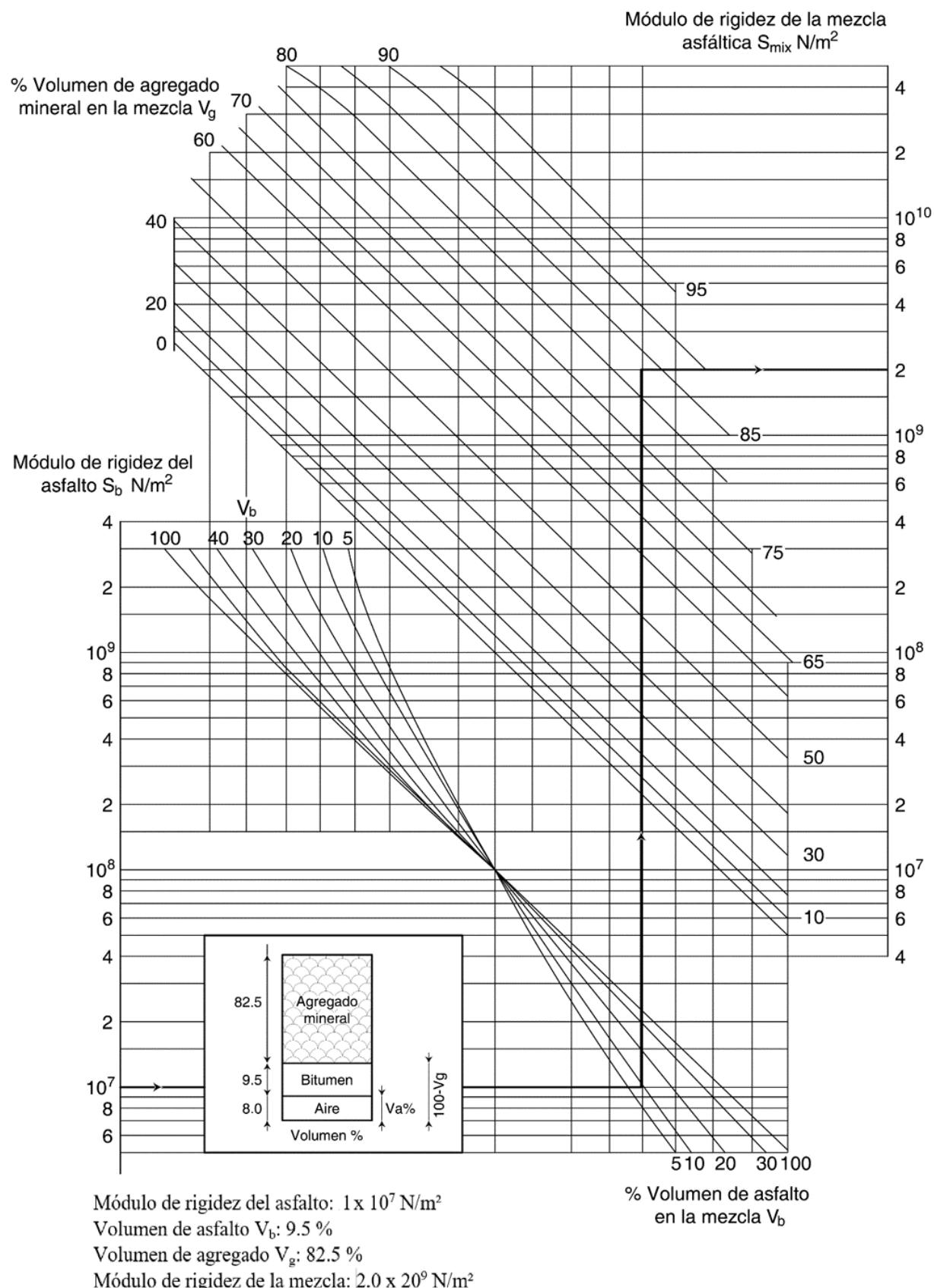
El módulo de rigidez del asfalto se puede determinar mediante una prueba de fluencia con un tiempo de carga t o una prueba dinámica bajo una carga sinusoidal con una frecuencia f . Van Der Poel (1954) descubrió que se obtiene el mismo módulo de rigidez cuando t está relacionado con f por

$$t = \frac{1}{2\pi f}$$

Shell (1978) ha sugerido que un tiempo de carga de 0.02 s, que corresponde a una frecuencia de 8 Hz según la ecuación anteriormente descrita, es representativo del rango de tiempos de carga que ocurren en la práctica y equivalente a una velocidad del vehículo de 45 a 65 km/h.

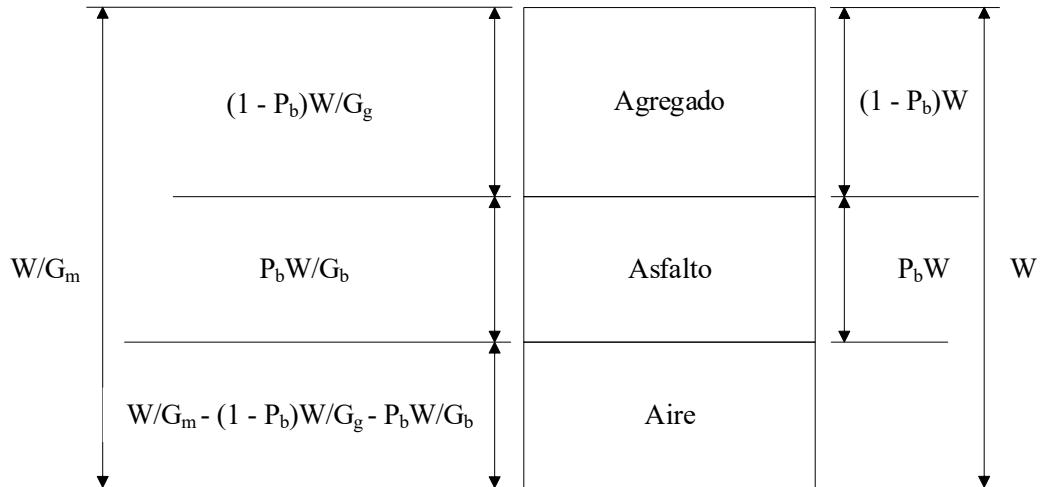
La siguiente figura muestra el nomograma para determinar el módulo de rigidez de mezclas asfálticas (Bonnaure et al., 1977). Los tres factores a considerar son el módulo de rigidez del asfalto o betún, el porcentaje en volumen de betún y el porcentaje en volumen de agregado. Los porcentajes en volumen de agregado, betún y aire se pueden calcular a partir del porcentaje en peso de betún, las gravedades específicas de betún y agregado y la gravedad específica aparente de la mezcla. Este último puede determinarse mediante el método de desplazamiento de agua, según lo especificado por AASHTO (1989) en "T166-83 Gravedad específica aparente de mezclas bituminosas compactadas".

Figura 8: Nomograma para determinar el módulo de rigidez de mezclas asfálticas



Nota. Adaptación de Shell.

Figura 9: Diagrama de fases de la mezcla asfáltica.



Nota. Adaptación de Huang (2004).

La anterior figura muestra el diagrama de fases de una mezcla asfáltica. Sea W el peso total de la mezcla y P_b el contenido de asfalto expresado como relación entre el peso del asfalto y el peso total. El peso del betún es P_bW y el peso del agregado es $(1 - P_b)W$, como se muestra en el lado derecho del diagrama. Por simplicidad, se supone que el agregado no absorbe asfalto. Si el agregado es poroso y tiene una cantidad significativa de absorción, el peso del asfalto absorbido debe restarse de W y no usarse para el cálculo.

Si la gravedad específica del agregado es G_g y la del asfalto es G_b , los volúmenes del agregado y del asfalto son $(1 - P_b)W/G_g$ y P_bW/G_b , respectivamente. Si la gravedad específica aparente de la mezcla es G_m , el volumen de la mezcla es W/G_m . Estos volúmenes se muestran en el lado izquierdo del diagrama. Por definición, el porcentaje en volumen del agregado V_g es:

$$V_g = \frac{(1 - P_b)W/G_g}{W/G_m} \times 100 = \frac{100(1 - P_b)W/G_m}{G_g}$$

El porcentaje en volumen de betún V_b es:

$$V_b = \frac{P_bW/G_b}{W/G_m} \times 100 = \frac{100P_bG_m}{G_b}$$

El porcentaje de volumen de aire vacío V_a es:

$$V_a = 100 - V_g - V_b$$

Si el agregado es una combinación de varias fracciones, cada una con una gravedad específica diferente, la gravedad específica promedio del agregado es:

$$G_g = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde P_1, P_2, \dots, P_n es el porcentaje en peso de cada fracción, y G_1, G_2, \dots, G_n es la gravedad específica de cada fracción. Tenga en cuenta que las gravedades específicas que se utilizarán en las ecuaciones anteriores son la gravedad específica aparente para los agregados y las mezclas y la gravedad específica aparente para el asfalto y el relleno mineral. La gravedad específica aparente, que se basa únicamente en el volumen sólido, es mayor que la gravedad específica aparente, que se basa en el volumen total, incluido el vacío de aire.

1.7.10.2. Ecuaciones de Bonnaure

Bonnaure et al. (1977) también desarrollaron las siguientes ecuaciones para predecir el módulo de rigidez de la mezcla S_m , basado en V_g , V_b , y el módulo de rigidez del asfalto o betún S_b :

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 10.82 - \frac{1.342(100 - V_g)}{V_g + V_b} \\ \beta_2 &= 8.0 + 0.00568V_g + 0.0002135V_g^2 \\ \beta_3 &= 0.6 \log\left(\frac{1.37V_b^2 - 1}{1.33V_b - 1}\right) \\ \beta_4 &= 0.7582(\beta_1 - \beta_2)\end{aligned}$$

Para $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2 < S_b < 10^9 \text{ N/m}^2$, S_m y S_b en N/m^2 .

$$\log S_m = \frac{\beta_4 + \beta_3}{2} (\log S_b - 8) + \frac{\beta_4 - \beta_3}{2} |\log S_b - 8| + \beta_2$$

Para $10^9 \text{ N/m}^2 < S_b < 3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, S_m y S_b en N/m^2 .

$$\log S_m = \beta_2 + \beta_4 + 2.0959(\beta_1 - \beta_2 - \beta_4)(\log S_b - 9)$$

Para $725 \text{ psi} < S_b < 145,000 \text{ psi}$, S_m y S_b en psi.

$$\log S_m = \frac{\beta_4 + \beta_3}{2} (\log S_b - 4.1612) + \frac{\beta_4 - \beta_3}{2} |\log S_b - 4.1612| + \beta_2 - 3.8383$$

Para $145,000 \text{ psi} < S_b < 435,000 \text{ psi}$, S_m y S_b en psi.

$$\log S_m = \beta_2 + \beta_4 + 2.0959(\beta_1 - \beta_2 - \beta_4)(\log S_b - 5.1612) - 3.8388$$

De acuerdo con Shell International Petroleum (1978), la exactitud del nomograma, verificada a través de numerosas mediciones en una amplia variedad de mezclas asfálticas, presenta un margen de error de 1.5 a 2, lo que resulta adecuado para fines de diseño práctico. Por lo tanto, la aplicación de estas ecuaciones para estimar el módulo se considera válida.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

1.8. Ámbito geográfico

El estudio se llevó a cabo en la ciudad del Cusco, específicamente en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil ubicado en la Ciudad Universitaria de Perayoc Av. De La Cultura N° 733, en el Laboratorio Geotecnia Metroasphalt S.A.C. Av. Las Américas C-1B Parque Industrial – Wanchaq y en el Laboratorio Ingeniería Inka Test E.I.R.L. Urb. Marsical Gamarra 19 – G – Cusco.

1.9. Tipo de investigación

De acuerdo a Sanchez & Reyes (2021) menciona que la investigación aplicada se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se deriven; por lo que el tipo de investigación es aplicada, puesto que se aplica los conocimientos de diseño de mezclas asfálticas en caliente y se verifica los efectos de la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas de las MAC.

1.10. Nivel de investigación

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente se realizó un experimento para verificar los efectos de la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, considerando que en función a los objetivos de la investigación para Sanchez & Reyes (2021) la Investigación Experimental tiene por objetivo realizar un experimento que permita demostrar presupuestos e hipótesis explicativas; se trabaja en una relación causa-efecto inmediata por lo cual requiere la aplicación del método experimental, por lo que el nivel de investigación es Experimental.

1.11. Método de investigación

Al preparar el diseño de mezclas asfálticas en caliente de forma artificial y teniendo control de la adición de cemento comercial como filler se analiza las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas calientes; Sanchez & Reyes (2021) define como Método Experimental mediante dos características importantes: El estudio del fenómeno o hecho en una forma artificial a través de la preparación deliberada de las condiciones que actúan sobre el (hecho o fenómeno) y la posibilidad de tener mayor control y manipulación sobre las variables de estudio, por lo que el Método de Investigación es Experimental.

1.12. Diseño de investigación

Según Sanchez & Reyes (2021) se le pueden identificar de acuerdo al número de variables independientes, al método de investigación que se emplea y al enfoque teórico metodológico:

1.12.11. Por el número de variables independientes o de estudio

El diseño de investigación es Univariado, porque se controla la variable independiente diseño de MAC convencional, observándose como actúa con la adición de cemento comercial como filler.

1.12.12. Por el método de investigación que emplea

El diseño de investigación es Experimental. Tratándose de un diseño unifactorial con un factor de estudio (porcentaje de cemento) y cinco niveles: 0% (MAC patrón), 1%, 2%, 4%, 8% (MAC patrón adicionando cemento como filler para 1%, 2%, 4% y 8%). Teniendo a la variable de respuesta son las propiedades fisico-mecánicas (Estabilidad, flujo, Va, VMA, VFA, resistencia, etc.). Asimismo, para cada nivel de tratamiento, se fabricaron y ensayaron un mínimo de tres (3) probetas réplica, con el fin de obtener un valor promedio representativo y poder analizar la variación de las propiedades fisico mecánicas en función del factor de estudio.

1.12.13. Por el enfoque teórico-metodológico

El diseño de investigación es Tradicional, puesto que se toma en cuenta grupos muestrales de estudio y de comparación (Muestras de diseño de MAC patrón y muestras de diseño de MAC con la adición de cemento comercial como filler).

1.13. Unidad de análisis

Las probetas o especímenes del diseño de mezclas asfálticas en caliente.

1.14. Población de estudio

En la presente investigación, la población estará constituida por los probetas o especímenes diseños de mezclas asfálticas en caliente en la ciudad del Cusco.

1.15. Tamaño de muestra

Para el desarrollo de la investigación se considera un total de ciento treinta y dos (132) muestras de los cuales, noventa y seis (96) muestras en forma de briquetas y, treinta y seis (36) muestras de mezclas asfálticas, tal como muestran las siguientes tablas:

Tabla 16: Cantidad de muestras en forma de briquetas para determinar el contenido óptimo de asfalto (%).

Cemento asfáltico (%)	Cantidad de briquetas
4.00	3
4.50	3
5.00	3
5.50	3
6.00	3
6.50	3
7.00	3
Total	21

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17: Cantidad de muestras para determinar la gravedad teórica máxima en la determinación de cemento asfáltico óptimo (%).

Cemento asfáltico (%)	Cantidad de muestras
4.00	3
4.50	3
5.00	3
5.50	3
6.00	3
6.50	3
7.00	3
Total	21

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18: Cantidad de muestras en forma de briquetas con la adición de cemento comercial como filler.

Adición de cemento como filler (%)	Con el cemento asfáltico óptimo	Resistencia a la compresión		Resistencia a la tracción indirecta		Cantidad de briquetas
		No acondicionado	Acondicionado	No acondicionado	Acondicionado	
0.00	3	3	3	3	3	15
1.00	3	3	3	3	3	15
2.00	3	3	3	3	3	15
4.00	3	3	3	3	3	15
8.00	3	3	3	3	3	15
Total	15	15	15	15	15	75

Nota. Elaboración propia.

Tabla 19: Cantidad de muestras para determinar la gravedad teórica máxima de briquetas con la adición de cemento comercial como filler.

Adición de cemento comercial como filler (%)	Cantidad de briquetas
0.00	3
1.00	3
2.00	3
4.00	3
8.00	3
Total	15

Nota. Elaboración propia.

Se toma en cuenta el diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional, que será utilizado para la adición de cemento comercial como filler en dosificaciones de 1%, 2%, 4% y 8%.

Las muestras del diseño de mezclas asfálticas en caliente se realizarán usando como agregado las canteras Morro Blanco (Agregado grueso) y Cunyac (Agregado fino), estas canteras son usadas por el gobierno regional del Cusco. Con respecto al cemento asfáltico se hará uso del tipo PEN 85-100, puesto que la ciudad del Cusco tiene una temperatura promedio anual el 2021 de 14°C según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021), que cumpla los requisitos de calidad y que sea compatible con los agregados pétreos a emplear según las normas vigentes peruanas tales como la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones dado por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2010) y el Manual de Carreteras - "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013" dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013); el filler comercial a utilizar en la presente investigación será el cemento comercial de la empresa Yura S.A. (2022).

1.16. Tipo de muestreo

Para la obtención de la muestra, en el presente trabajo de investigación se realiza un muestreo no probabilístico Intencionado, puesto que según Sanchez & Reyes (2021) el Muestro No Probabilístico Intencionado selecciona una muestra representativa de la población donde es extraída. Lo importante es que esa muestra se da en base a una opinión o intención particular de quien selecciona la muestra y por lo tanto la evaluación de la representatividad es subjetiva.

1.17. Técnicas de recolección de información

Se emplearán diferentes técnicas en el presente trabajo de investigación basada en:

1.17.1. Técnicas

Respecto a la técnica se debe observar y reflexionar lo que se usará para la recolección de información así se puede estar en contacto con el contexto, para tal fin se utilizó fichas de recolección de datos de los ensayos a realizar.

1.17.2. Análisis documental.

Para obtener la documentación teórica sobre el problema de investigación se revisó libros, tesis, publicaciones y hechos relacionados al tema de investigación. Así como también se buscará información de las canteras Morro Blanco (Agregado grueso) y Cunyac (Agregado fino), el tipo de asfalto y filler. Para la realización de ensayos se utilizarán las normas nacionales e internacionales vigentes, tales como Manual de Ensayo de Materiales dado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017) entre otros.

1.17.3. Instrumento.

El instrumento que se aplicó en el presente estudio de investigación se ha considerado los siguientes:

- Consultas bibliográficas.
- Internet.

- Información y archivos utilizados para los estudios proporcionados.
- Normatividad vigente.
- Ficha de recolección de datos.

1.18. Técnicas de análisis e interpretación de la información

1.18.1. Técnicas de procesamiento.

Para la presente investigación una vez recolectado la información mediante el método de la experimentación, se procesó los datos utilizando las hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel representando los resultados mediante tablas y gráficos. Las hojas de cálculo en el programa Excel serán utilizados para determinar la dosificación en proporción de agregado pétreo, material bituminoso y filler, la incidencia de la adición de cemento comercial como filler en los parámetros volumétricos y la influencia en las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente.

1.18.2. Análisis de datos.

Para la elaboración del presente trabajo de investigación se tomó como fuente textos, artículos, publicaciones y trabajos de investigación en las cuales presentan trabajos ejecutados, mecanismos de funcionamiento y características similares a lo estudiado. La redacción de la investigación se realizará según formato dado por American Psychological Association (2019).

1.19. Descripción de ensayos a realizar.

1.19.1. Agregado grueso

1.19.1.1. Pérdida de sulfato de magnesio - MTC E 209

Objetivo

Determinar la durabilidad de los agregados frente a soluciones de sulfato de magnesio.

Proceso

- Las muestras de agregados se sumergen en una solución saturada de sulfato de magnesio.
- Se someten a ciclos de inmersión (generalmente durante 16-18 horas) y secado (a una temperatura de 110°C).
- Se evalúa la pérdida de masa de las muestras después de cada ciclo.

Aplicación e importancia

Se utiliza para evaluar la calidad de los agregados para su uso en aplicaciones donde puedan estar expuestos a soluciones salinas, como carreteras, estructuras costeras, etc.

1.19.1.2. Abrasión los Ángeles- MTC E 207

Objetivo

Determinar la resistencia del agregado a la abrasión bajo condiciones de fricción.

Equipos

- Equipo de Los Ángeles,
- bolas de acero,

- equipos de tamizado y pesaje.

Proceso

- La muestra de agregado y las bolas de acero se colocan en el tambor de la máquina, que gira durante un número determinado de vueltas.
- Se calcula el porcentaje de pérdida de material por desgaste, que indica la resistencia y/o del agregado.

Aplicación e importancia

El ensayo es fundamental para evaluar la calidad de los agregados en aplicaciones donde se requiere resistencia al desgaste, como pavimentos, carreteras, etc.

1.19.1.3. Índice de durabilidad - MTC E 214

Objetivo

Determinar el índice de durabilidad y el índice de los agregados. El índice de durabilidad de un agregado proporciona un valor que refleja su resistencia relativa a generar partículas finas nocivas, como la arcilla, cuando se somete a los procedimientos mecánicos de degradación descritos.

Proceso

En el ensayo se somete a una muestra de agregado a agitación mecánica en agua, luego se debe secar la muestra y evaluar el material que pasa a través de un tamiz específico (4.75 mm o N°4). La cantidad de material fino generado se utiliza para calcular el índice de durabilidad, que indica la resistencia del agregado a la degradación.

Aplicación e importancia

Este ensayo es fundamental para garantizar la calidad de los materiales utilizados en la construcción de carreteras, puesto que la presencia de finos en exceso puede afectar negativamente la estabilidad, durabilidad y resistencia del pavimento.

1.19.1.4. Partículas chatas y alargadas - MTC E 221

Objetivo

Evaluar la forma de las partículas del agregado grueso, para la determinación de los índices de aplastamiento y de alargamiento.

Proceso

- Muestreo: Se toma una muestra representativa del agregado.
- Tamizado: Se separan las partículas según su tamaño mediante tamices.
- Selección y medición:
- Se eligen partículas individuales y se miden sus dimensiones (largo, ancho y espesor).
- Una partícula se considera chata si su relación ancho/espesor supera un límite establecido.
- Una partícula se considera alargada si su relación largo/ancho excede otro límite definido.
- Cálculo: Se determina el porcentaje de partículas chatas, alargadas o ambas en la muestra.

Aplicación e importancia

Este ensayo ayuda a garantizar la calidad de los agregados para obras viales y estructuras

1.19.1.5. Partículas fracturadas - MTC E 210

Objetivo

Determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos.

Procedimiento

- Preparación de la muestra: Se toma una muestra representativa del agregado grueso, se lava para eliminar finos y se seca.
- Separación de partículas: Se separan las partículas según el número de caras fracturadas (una o más caras fracturadas).
- Pesaje: Se pesan las partículas fracturadas y no fracturadas.
- Cálculo: Se calcula el porcentaje de partículas fracturadas por masa o cantidad.

Aplicación e importancia

Evalúa la calidad del agregado y su idoneidad para diferentes aplicaciones.

Construcción de carreteras, donde la forma de las partículas afecta la trabajabilidad y resistencia.

1.19.1.6. Sales solubles totales - MTC E 219

Objetivo

Evaluando la cantidad de sales solubles (como cloruros, sulfatos y nitratos) en una muestra, ya que un alto contenido puede afectar la durabilidad de estructuras, causando eflorescencias, corrosión de aceros o deterioro en concretos y pavimentos.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:
- Se seca y muele el material para homogenizarlo.
- Se toma una porción representativa.
- Extracción de sales solubles:
- La muestra se mezcla con agua destilada y se agita para disolver las sales.
- Se filtra la solución para separar los sólidos insolubles.
- Determinación del contenido de sales:
- La solución filtrada se evapora a sequedad en un recipiente tarado.
- El residuo seco se pesa para calcular el contenido de sales solubles totales.
- Alternativamente, puede usarse un conductímetro para estimar la concentración de sales por conductividad eléctrica.

Cálculo

Se expresa como porcentaje en masa de sales solubles respecto al peso de la muestra seca:

$$\text{Sal soluble total (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo seco}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

Aplicación e importancia

Las sales solubles pueden provocar expansión, fisuración o corrosión en estructuras. Es clave en proyectos viales, cimentaciones y prefabricados para asegurar la calidad de los materiales.

1.19.1.7. Adherencia - MTC E 519

Objetivo

Determinar el grado de revestimiento (cobertura del ligante sobre el agregado) y la resistencia al desprendimiento tras la exposición al agua, mediante una evaluación visual o cuantitativa.

Procedimiento

- Preparación de muestras:

Se mezcla el agregado con el ligante bituminoso en condiciones controladas (temperatura y tiempo).

El revestimiento bituminoso en el agregado debe ser completo, no se permiten partes descubiertas.

- Exposición al agua:

Se sumerge la muestra en agua a 25°C durante 16-18 horas (simula condiciones críticas de humedad).

Cálculo e Interpretación

Método visual: Se observa el porcentaje de revestimiento remanente en el agregado tras la inmersión.

Escala de clasificación: Reportar la estimación del área revestida como “Mayor de 95%” o “Menor de 95%”.

Aplicación e importancia

Diseño de mezclas asfálticas, control de calidad de emulsiones y cementos asfálticos.

1.19.1.8. Absorción - MTC E 206

Objetivo

Calcular el porcentaje de agua absorbida por los agregados en condiciones de saturación superficialmente seca (SSS), lo que permite prever su comportamiento en mezclas con ligantes (asfalto o cemento) y su susceptibilidad a la humedad.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se seca el agregado en horno ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) hasta masa constante.

Se sumerge en agua por 24 ± 4 horas para saturarlo.

- Secado superficial:

Se seca la superficie con un paño húmedo hasta alcanzar la condición SSS (sin agua libre en la superficie).

- Pesado y cálculo

Se registra el peso seco (P_{seco}), el peso SSS (P_{sss}) y el peso sumergido (P_{sum}).

La absorción (AA) se calcula como:

$$A (\%) = \frac{P_{sss} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100$$

Aplicación e importancia

Asegura que los agregados sean adecuados para mezclas asfálticas y concreto. Compatibilidad con ligantes: Evita problemas como encharcamientos o desprendimientos en pavimentos. Usado en proyectos viales, prefabricados y estructuras de concreto, pavimentaciones, etc.

1.19.2. Agregado Fino

1.19.2.1. Equivalente de arena - MTC E 114

Objetivo

Medir la relación entre la arena limpia y los finos arcillosos en una muestra, expresada como un porcentaje (Equivalente de Arena, EA).

Procedimiento

- Preparación:

Se mezcla una muestra de suelo o agregado fino con solución lavadora (agua + cloruro de sodio o solución especial) en un cilindro de medición.

- Agitación y sedimentación:

Se agita vigorosamente para separar los finos arcillosos de las partículas de arena.

Se deja reposar (20 ± 5 min) para que los finos se suspendan y la arena se sedimente.

- Medición:

Se mide la altura total del material sedimentado ($H_{arcilla}$) y la altura de solo la arena (H_{arena}).

El EA se calcula como:

$$EA (\%) = \frac{H_{arena}}{H_{arcilla}} \times 100$$

Aplicación e importancia

Evita el uso de materiales con altos contenidos de arcillas, que reducen la resistencia y aumentan la hinchazón por humedad. Usado en suelos para terraplenes, bases granulares y filtros, pavimentos, etc.

1.19.2.2. Angularidad de agregado fino - MTC E 222

Objetivo

Medir la proporción de vacíos intergranulares en una muestra compactada de agregado fino, lo que refleja su forma y textura superficial.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se seca el agregado fino y se tamiza para obtener una fracción específica (generalmente entre 0.075 mm y 2.36 mm).

- Compactación:

Se coloca una cantidad fija de arena en un molde cilíndrico y se compacta mediante vibración o golpes estandarizados.

- Medición de vacíos:

Conociendo la gravedad específica bruta del agregado seleccionado (G_{sb}).

Al determinar el peso del agregado fino (w) que ocupa un cilindro de volumen conocido (v), el contenido de vacíos puede calcularse como la diferencia entre el volumen total del cilindro y el volumen ocupado por el agregado fino dentro del mismo:

$$\text{Angularidad} = \frac{v - \frac{w}{G_{sb}}}{v} \times 100$$

Aplicación e importancia

Agregados angulares mejoran la resistencia mecánica en pavimentos.

Usado en proyectos viales y concreto, pavimentaciones, etc.

1.19.2.3. Azul de metileno - AASTHO TP 57

Objetivo

Evaluare la cantidad de arcillas expansivas y finos dañinos en suelos o agregados, los cuales pueden afectar la estabilidad y durabilidad de terraplenes, bases granulares y mezclas asfálticas.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se mezcla una cantidad de suelo o agregado fino (< 0.075 mm) con agua destilada hasta formar una suspensión.

- Titulación con azul de metileno:

Se añade solución de azul de metileno (0.1%) gota a gota.

Tras cada adición, se agita y se coloca una gota de la mezcla sobre papel de filtro para observar la formación de un "halo azul".

- Punto final:

El ensayo finaliza cuando el halo persiste por 5 minutos, indicando saturación de los finos con el colorante.

El resultado se expresa como Valor de Azul de Metileno en gramos de Azul de Metileno por 100 g de muestra.

Aplicación e importancia

Control de calidad identifica suelos problemáticos para estabilización o rechazo.

Usado para proyectos viales, presas y cimentaciones, pavimentaciones, etc.

1.19.2.4. Adhesividad (Riedel Weber) - MTC E 220

Objetivo

Determinar el grado de adhesión entre una emulsión asfáltica y un agregado específico, bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, para predecir su desempeño en campo.

Procedimiento (Método Riedel & Weber):

- Preparación de muestras:
Se seleccionan agregados pétreos limpios y secos.
Se sumergen en la emulsión asfáltica y se dejan escurrir.
- Curación y exposición a agua:
Las muestras recubiertas se curan en aire y luego se sumergen en agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- Evaluación visual:
Se examina el porcentaje de recubrimiento asfáltico remanente en el agregado después de la inmersión.
La adhesividad se clasifica en una escala predefinida (Ejemplo: excelente, buena, regular, mala).

Aplicación e importancia:

Asegura que la emulsión forme una película uniforme y resistente al agua.

Selección de materiales: Evita fallas prematuras por desprendimiento en carpetas asfálticas o tratamientos superficiales.

Usado en laboratorios de pavimentos para validar emulsiones en riegos de impregnación, sellos asfálticos y mezclas en frío.

1.19.2.5. Pérdida de sulfato de magnesio - MTC E 209

Objetivo

Determinar la durabilidad de los agregados frente a soluciones de sulfato de magnesio.

Proceso

- Las muestras de agregados se sumergen en una solución saturada de sulfato de magnesio.
- Se someten a ciclos de inmersión (generalmente durante 16-18 horas) y secado (a una temperatura de 110°C).
- Se evalúa la pérdida de masa de las muestras después de cada ciclo.

Aplicación e importancia

Se utiliza para evaluar la calidad de los agregados para su uso en aplicaciones donde puedan estar expuestos a soluciones salinas, como carreteras, estructuras costeras, etc.

1.19.2.6. Índice de durabilidad - MTC E 214

Objetivo

Determinar el índice de durabilidad, índice de agregados. El índice de durabilidad de un agregado calcula un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos daños como la arcilla, cuando se somete a los métodos de degradación mecánicos de degradación que se describen.

Proceso

En el ensayo se somete a una muestra de agregado a agitación mecánica en agua, luego se debe secar la muestra y evaluar el material que pasa a través de un tamiz específico (4.75 mm o N°4). La cantidad de material fino generado se utiliza para calcular el índice de durabilidad, que indica la resistencia del agregado a la degradación.

Aplicación e importancia

Este ensayo es fundamental para garantizar la calidad de los materiales utilizados en la construcción de carreteras, puesto que la presencia de finos en exceso puede afectar negativamente la estabilidad, durabilidad y resistencia del pavimento.

1.19.2.7. Índice de plasticidad (Malla N°40) - MTC E 111

Objetivo

Calcular la plasticidad del suelo mediante la diferencia entre su límite líquido (LL) y límite plástico (LP), lo que permite predecir su capacidad de deformación y su estabilidad en obras geotécnicas y viales.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se tamiza el suelo por la malla N°40 para separar la fracción fina (< 0.425 mm).

Se mezcla con agua hasta obtener una pasta homogénea.

- Determinación del Límite Líquido (LL):

Se usa la copa de Casagrande para medir el contenido de humedad (%) al cual el suelo fluye tras 25 golpes.

- Determinación del Límite Plástico (LP):

Se enrolla la pasta en hilos de 3 mm de diámetro hasta que se agriete, registrando su humedad en ese punto.

- Cálculo del Índice de Plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP$$

Importancia

Clasificación de suelos: Según el Sistema AASHTO o SUCS

Estabilidad de terraplenes: Suelos con alto IP pueden ser inestables ante cambios de humedad.

Aplicación: Usado en geotecnia para diseño de cimentaciones, pavimentos y control de calidad de materiales.

1.19.2.8. Índice de plasticidad (Malla N°200) - MTC E 111

Objetivo

Calcular la plasticidad del suelo mediante la diferencia entre su límite líquido (LL) y límite plástico (LP), lo que permite clasificar suelos y predecir su respuesta ante cambios de humedad.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se tamiza el suelo por la malla N°200 para obtener la fracción fina (< 0.075 mm).

Se mezcla con agua hasta lograr una pasta homogénea.

- Determinación del Límite Líquido (LL):

Se utiliza la copa de Casagrande para medir el contenido de humedad (%) al que el suelo fluye tras 25 golpes.

- Determinación del Límite Plástico (LP):

Se forman rollitos de suelo de 3 mm de diámetro hasta que se agrieten, registrando su humedad en ese punto.

- Cálculo del Índice de Plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP$$

Importancia

Clasificación de suelos: Según sistemas AASHTO o SUCS

Estabilidad de obras: Suelos con alto IP pueden presentar hinchamiento, contracción o pérdida de resistencia ante cambios de humedad.

Selección de materiales: Para terraplenes, subrasantes y rellenos.

Aplicación: Usado en laboratorios de geotecnia para proyectos viales, cimentaciones y control de calidad de suelos.

Nota: A diferencia del ensayo con malla N°40, este método se enfoca en partículas más finas (< 0.075 mm), siendo más relevante para suelos arcillosos o limo-arcillosos.

1.19.2.9. Sales solubles totales - MTC E 219

Objetivo

Evaluar la cantidad de sales solubles (como cloruros, sulfatos y nitratos) en una muestra, ya que un alto contenido puede afectar la durabilidad de estructuras, causando eflorescencias, corrosión de aceros o deterioro en concretos y pavimentos.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

- Se seca y muele el material para homogenizarlo.

- Se toma una porción representativa.

- Extracción de sales solubles:

- La muestra se mezcla con agua destilada y se agita para disolver las sales.

- Se filtra la solución para separar los sólidos insolubles.
- Determinación del contenido de sales:
- La solución filtrada se evapora a sequedad en un recipiente tarado.
- El residuo seco se pesa para calcular el contenido de sales solubles totales.
- Alternativamente, puede usarse un conductímetro para estimar la concentración de sales por conductividad eléctrica.

Cálculo

Se expresa como porcentaje en masa de sales solubles respecto al peso de la muestra seca:

$$\text{Sal soluble total (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo seco}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

Aplicación e importancia

Las sales solubles pueden provocar expansión, fisuración o corrosión en estructuras. Es clave en proyectos viales, cimentaciones y prefabricados para asegurar la calidad de los materiales.

1.19.2.10. Absorción - MTC E 205

Objetivo

Calcular el porcentaje de agua absorbida por los agregados gruesos en condición de saturación superficialmente seca (SSS), lo que permite predecir su interacción con ligantes asfálticos o cemento, y su comportamiento bajo condiciones de humedad.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se seca el agregado en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.

Se sumerge en agua por 24 ± 4 horas para saturarlo completamente.

- Secado superficial:

Se seca la superficie del agregado con un paño húmedo hasta alcanzar la condición SSS (sin agua libre en la superficie).

- Pesado y cálculo:

Se registra el peso seco (P_{seco}), el peso SSS (P_{sss}) y el peso sumergido (P_{sum}).

La absorción (AA) se calcula como:

$$A (\%) = \frac{P_{sss} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100$$

Aplicación e importancia

Asegura que el material cumpla con los requisitos para obras viales y estructuras.

Durabilidad: Agregados con alta absorción pueden ser más susceptibles al daño por ciclos de humedad-secado o heladas.

Utilizado en laboratorios de materiales para el control de calidad de agregados en proyectos de pavimentos, prefabricados y construcción en general.

1.19.3. Granulometría de agregados

1.19.3.1. Análisis granulométrico de agregados - MTC E 204

Objetivo

Obtener la curva granulométrica de un agregado, identificando el porcentaje de material que pasa o retiene en cada tamiz, según normas técnicas. Esto permite: Verificar el cumplimiento de especificaciones para su uso y optimizar el diseño de mezclas.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se seca el agregado y se selecciona una cantidad representativa según su tamaño máximo.

- Tamizado:

Se utiliza una serie de tamices estándar (De acuerdo a la gradación MAC-2 de las normas técnicas vigentes).

Se agita la muestra en una máquina tamizada o manualmente.

- Pesado y cálculo:

Se registra el peso retenido en cada tamiz.

Se calcula el porcentaje retenido, acumulado retenido y porcentaje que pasa para cada tamiz.

Resultados

Curva granulométrica: Gráfico que muestra la distribución de tamaños de partículas.

Importancia

Asegura que los agregados cumplan con los rangos granulométricos exigidos

Diseño de mezclas: Optimiza el uso de ligantes y vacíos en mezclas asfálticas o concreto.

Usado en laboratorios de suelos y materiales para proyectos viales, estructuras y prefabricados.

1.19.4. Asfalto

1.19.4.1. Penetración de los materiales bituminosos - MTC E 304

Objetivo

Determinar el grado de penetración (en décimas de milímetro) de una aguja cargada en el material bituminoso a una temperatura y tiempo específicos, lo que permite clasificar su consistencia y calidad para su uso en pavimentos.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se funde el material bituminoso y se vierte en un recipiente, dejándolo enfriar a $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ en baño termostático.

- Aplicación del penetrómetro:

Se coloca una aguja estándar (100 g de carga total) sobre la superficie del asfalto.

Se deja penetrar durante 5 segundos.

- Medición:

Se registra la profundidad de penetración en décimas de milímetro

Aplicación e importancia

Detecta envejecimiento o contaminación del material.

Usado para el control de calidad de asfaltos para carreteras, sellos y mezclas asfálticas.

1.19.4.2. Ductilidad de los materiales bituminosos - MTC E 306

Objetivo

Determinar la distancia máxima (en cm) que puede estirarse una muestra de asfalto en forma de briquetas antes de fracturarse, reflejando su resistencia a agrietamientos por cambios térmicos o tensiones mecánicas.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se funde el material bituminoso y se vierte en moldes tipo briqueta (sección transversal mínima de 1 cm²).

Se enfriá a 25°C ± 0.5°C en baño termostático durante 90 minutos.

- Ensayo de estiramiento:

Se coloca las muestras en el ductilómetro, sumergida en agua a 25°C.

Se estira a velocidad constante de 5 cm/min ± 0.25 cm/min.

- Medición:

Se registra la distancia (cm) al momento de la rotura.

Aplicación e importancia

Calidad del ligante: Asegura que el asfalto soporte deformaciones sin romperse.

Usado en laboratorios de pavimentos para validar cementos asfálticos en mezclas densas, sellos superficiales y tratamientos contra fisuramiento.

1.19.5. Filler

1.19.5.1. Análisis granulométrico de agregados - MTC E 204

Objetivo

Obtener la curva granulométrica de un agregado, identificando el porcentaje de material que pasa o retiene en cada tamiz, según normas técnicas. Esto permite: Verificar el cumplimiento de especificaciones para su uso y optimizar el diseño de mezclas.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se seca el agregado y se selecciona una cantidad representativa según su tamaño máximo.

- Tamizado:

Se utiliza una serie de tamices estándar (De acuerdo a la gradación MAC-2 de las normas técnicas vigentes).

Se agita la muestra en una máquina tamizada o manualmente.

- Pesado y cálculo:

Se registra el peso retenido en cada tamiz.

Se calcula el porcentaje retenido, acumulado retenido y porcentaje que pasa para cada tamiz.

Resultados

Curva granulométrica: Gráfico que muestra la distribución de tamaños de partículas.

Importancia

Asegura que los agregados cumplan con los rangos granulométricos exigidos

Diseño de mezclas: Optimiza el uso de ligantes y vacíos en mezclas asfálticas o concreto.

Usado en laboratorios de suelos y materiales para proyectos viales, estructuras y prefabricados.

1.19.6. Mezclas asfálticas en caliente

1.19.6.1. Altura de especímenes compactados de mezclas de pavimento asfáltico -

MTC E 507

Objetivo

Medir con precisión la altura (mm) de especímenes compactados (ej.: con compactador Marshall o prensa giratoria) para: Validar el cumplimiento de alturas estándar según el método de diseño, calcular la densidad y vacíos de la mezcla y asegurar la uniformidad en la fabricación de probetas.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se compacta la mezcla asfáltica en moldes cilíndricos (diámetro estándar: 101.6 mm o 152.4 mm).

- Medición de altura:

Se coloca el espécimen sobre una superficie plana.

Se mide la altura en cuatro puntos equidistantes con un calibrador de precisión (± 0.1 mm).

- Cálculo:

Se reporta el promedio de las cuatro mediciones como altura final.

Aplicación e importancia

Garantiza que las probetas cumplan con los requisitos para ensayos posteriores.

Usado en laboratorios de pavimentos durante el diseño de mezclas asfálticas.

1.19.6.2. Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca - MTC E 514

Objetivo

Calcular el peso específico aparente (relación entre el peso del espécimen y su volumen, incluyendo vacíos permeables). Determinar el peso unitario (masa por unidad de volumen) para evaluar la compactación y calidad de la mezcla asfáltica.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se compactan especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica

- Condición SSS (Saturado Superficialmente Seco):

Se satura el espécimen en agua a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se seca superficialmente con un paño húmedo.

- Pesado:

Peso SSS (B): Masa del espécimen en condición SSS.

Peso sumergido (C): Masa del espécimen sumergido en agua.

Peso seco al horno (A): Masa del espécimen seco.

- Cálculos:

Peso específico aparente (Gmb):

$$\text{Gmb} = \frac{A}{B - C}$$

Peso unitario (γ):

$$\text{Peso unitario} = \text{Peso específico aparente} \times 997.0$$

Donde: 997,0 = Peso unitario del agua en kg/m³ a 25°C (0,9970 g/cm³).

Aplicación e importancia

Permite calcular vacíos de aire y vacíos en el agregado mineral.

Verifica que la densidad cumpla con los estándares del proyecto.

Usado en laboratorios de pavimentos para validar mezclas asfálticas durante su diseño, producción y control de calidad en obra.

1.19.6.3. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos - MTC E 508

Objetivo

Calcular la densidad máxima teórica de la mezcla asfáltica (agregados + asfalto) en condiciones ideales (0% de aire), utilizada para: Determinar el porcentaje de vacíos de aire (Va) en especímenes compactados y validar el diseño de mezclas y la proporción de ligante.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se selecciona una muestra representativa de la mezcla suelta (sin compactar).

Se seca y separa en fracciones para evitar aglomeraciones.

- Método del picnómetro:

Se coloca la muestra en un picnómetro al vacío con agua destilada.

Se aplica vacío para eliminar burbujas de aire (≥ 30 minutos).

- Cálculo del Gmm:

Se miden las masas del picnómetro con agua (A), con muestra + agua (B) y la muestra seca (C).

Fórmula:

$$G_{mm} = \frac{C}{A - B + C}$$

Aplicación e importancia

Permite calcular el Porcentaje de vacíos llenos de aire.

Detecta variaciones en la composición o compactación.

Usado en laboratorios de pavimentos durante el diseño Marshall, y en producción de mezclas asfálticas.

1.19.6.4. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall - MTC E 504

Objetivo

Determinar: Estabilidad Marshall (carga máxima en kN que soporta la probeta antes de fallar) y flujo Marshall (deformación en mm durante la aplicación de la carga). Estos parámetros permiten optimizar la proporción de asfalto y agregados para garantizar durabilidad y resistencia.

Procedimiento

- Preparación de probetas:

Se compactan especímenes cilíndricos ($\varnothing 101.6$ mm, altura ≈ 63.5 mm) con el compactador Marshall (75 golpes por cara).

Se saturan y acondicionan a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (simulando condiciones de servicio).

- Ensayo de carga:

La probeta se coloca en el aparato Marshall y se aplica carga a una velocidad de 50.8 mm/min hasta la falla.

- Mediciones:

Estabilidad: Carga máxima registrada (kN).

Fluencia: Deformación vertical en el punto de carga máxima (0.25 mm).

Importancia

Define la proporción óptima de ligante y agregados.

Verifica que la mezcla cumpla especificaciones para obras viales.

Usado en laboratorios de pavimentos para diseño Marshall, producción de mezclas asfálticas y auditorías de calidad en carreteras.

1.19.7. Resistencia a la tracción indirecta, resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida.

1.19.7.1. Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad por medio de la relación en la resistencia a la tensión indirecta - MTC E 522

Objetivo

Determinar la relación de resistencia a la tensión indirecta (TSR) como indicador de la pérdida de resistencia debido a la acción del agua, mediante la fórmula:

$$\text{TSR (\%)} = \frac{\text{ITS}_{\text{acondicionado}}}{\text{ITS}_{\text{no acondicionado}}} \times 100$$

Donde: Resistencia a la tensión indirecta (ITS)

Procedimiento

- Preparación de muestras:

Se compactan especímenes cilíndricos (\varnothing 100 mm, altura 63.5 mm).

Se dividen en dos grupos: no acondicionada condición seca (25°C) y acondicionada condición saturada (-18°C durante 3 h y 60°C durante 24 h + 25°C durante 2 h).

- Ensayo de tensión indirecta (ITS):

Se aplica carga diametral a una velocidad de 50 mm/min hasta la falla.

Se registra la carga máxima para calcular el ITS (kPa):

- Cálculo del TSR:

Se compara el ITS en condición acondicionada vs. no acondicionada.

Aplicación e importancia

Evalúa el potencial de descamación o pérdida de cohesión por humedad.

Usado en laboratorios de pavimentos para diseño de mezclas en zonas lluviosas o con alta humedad, y en control de calidad de mezclas asfálticas.

1.19.7.2. Efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas - MTC E 518

Objetivo

Determinar el porcentaje de pérdida de resistencia a la compresión tras someter probetas a condiciones de saturación y acondicionamiento en agua.

Procedimiento

- Preparación de muestras:

Se compactan especímenes cilíndricos (\varnothing 101.6 mm, altura \approx 101.6 mm) con energía Marshall o equivalente.

Se dividen en dos grupos:

Condición seca: Almacenadas a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Condición húmeda: Saturadas en agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, luego a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 2 h.

- **Ensayo de compresión:**

Se aplica carga axial a velocidad constante (50 mm/min) hasta la falla.

Se registra la carga máxima (kN) para calcular la resistencia ($R = \text{Carga}/\text{Área}$).

- **Cálculo de la pérdida:**

Se compara la resistencia promedio de ambos grupos.

- **Fórmula:**

$$\text{Índice de resistencia retenida (\%)} = \frac{R_{\text{acondicionado}}}{R_{\text{no acondicionado}}} \times 100$$

Aplicación e importancia

Identifica mezclas propensas a descamación o pérdida de cohesión por humedad.

Evaluá la eficacia de ligantes modificados o tratamientos superficiales.

Usado en laboratorios de pavimentos para: Diseño de mezclas en zonas lluviosas o con drenaje deficiente y control de calidad en proyectos viales con exigencia de resistencia a la humedad.

1.20. Ensayos a realizar para evaluar las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.

Para la evaluación de las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente se realizarán los siguientes ensayos tal como muestra la siguiente tabla a continuación.

Tabla 20: Ensayos a realizar para evaluar las propiedades físico mecánica de las mezclas asfálticas en caliente.

Propiedad físico mecánica evaluada	Ensayo realizado	Normativa aplicable	Instrumento
Estabilidad y Flujo	Resistencia a la compresión con ensayo Marshall	MTC E 504	Aparato Marshall
Parámetros volumétricos (Va, VMA, VFA)	Pesos Específicos y Teórico Máximo	MTC E 514, MTC E 508	Balanza, Picnómetro
Resistencia a la tensión indirecta (TSR)	Daño inducido por humedad	MTC E 522	Cabezal de Compresión Lottman

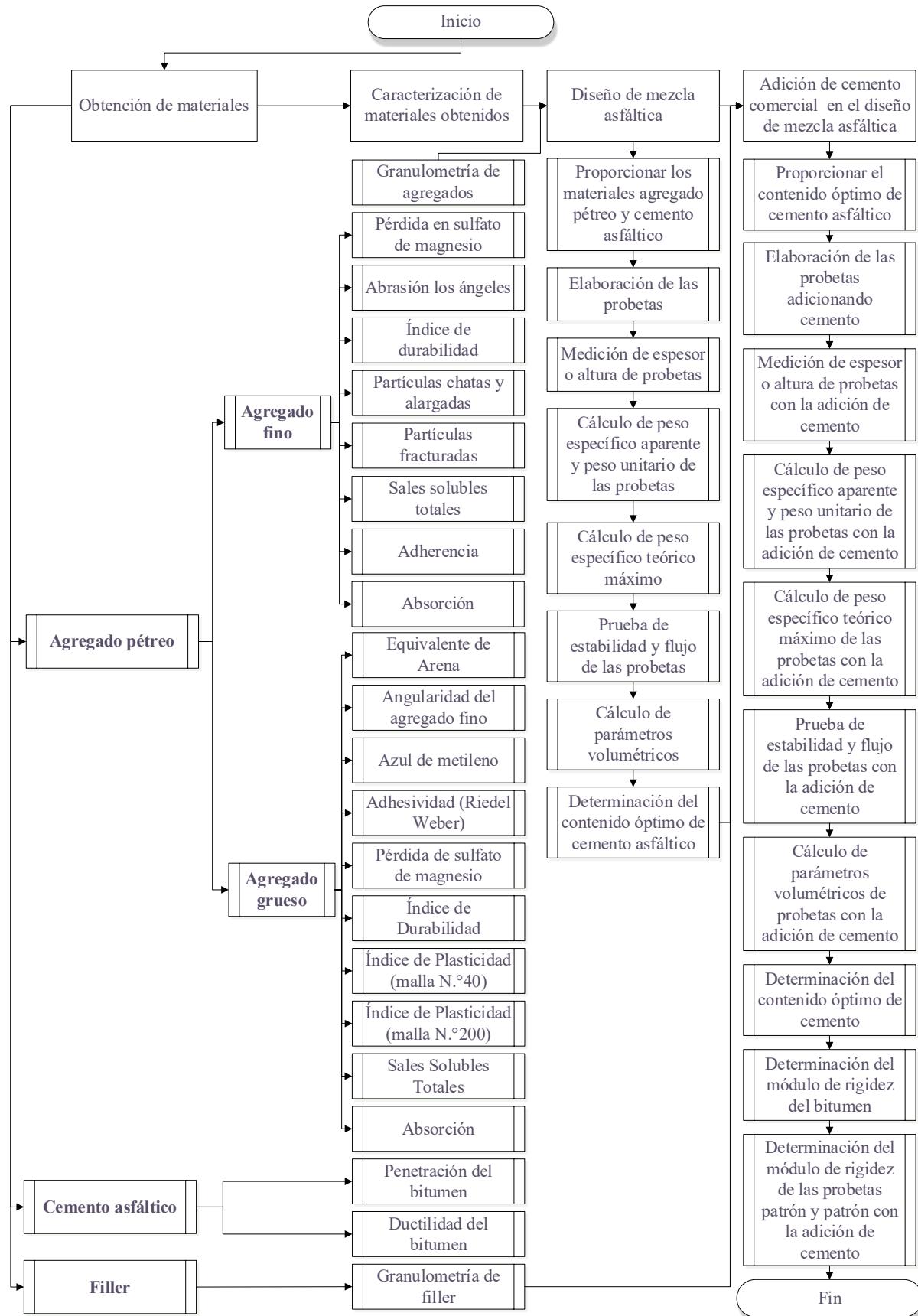
Resistencia a la compresión e Índice de resistencia retenida	Efecto del agua en la resistencia	MTC E 518	Máquina de Compresión
Módulo de rigidez	Análisis mediante nomogramas	Shell (1978), Bonnaure et al. (1977)	Cálculo teórico

Nota. Elaboración propia.

Estos ensayos son necesarios para la evaluación de las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente patrón y adicionando cemento comercial en 1%, 2%, 4% y 8% como filler. La adición del cemento como filler se realiza con respecto al peso total de la mezcla asfáltica patrón, por lo que la evaluación de la influencia del cemento adicionando como filler para la presente investigación es netamente para la mezcla asfáltica (Mezcla de agregados, asfalto y/o filler).

1.21. Diagrama de flujo del proceso de investigación

Figura 10: Diagrama de flujo del proceso de investigación.



Nota. Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.22. Caracterización de materiales

La caracterización de materiales que componen la mezcla asfáltica en caliente tales como agregados, filler y asfalto se realiza con las normas técnicas peruanas e internacionales vigentes.

Los agregados pétreos y asfalto son obtenidos de la planta de asfaltos del Plan COPESCO Cusco, ubicado aproximadamente a 590 m del desvío de la carretera nacional PE-3S en el Km 995.

Figura 11: Ubicación de la planta de asfalto PLAN COPESCO CUSCO.



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, en la siguiente tabla se indica a detalle la procedencia y tipo de los materiales (Agregado fino, agregado grueso, asfalto y filler) a usarse en el presente trabajo de investigación.

Tabla 21: Procedencia y tipo de materiales.

Material	Procedencia	Tipo
Agregado fino	Cantera Cunyac	Arena natural
	Cantera Morro Blanco	Arena triturada
Agregado grueso	Cantera Morro Blanco	Piedra chancada
Asfalto	Petroperú	PEN 85-100
Filler	Cemento Yura	IP

Nota. Elaboración propia.

1.22.8. Caracterización de agregados pétreos

1.22.8.1. Agregado Grueso

1.22.8.1.1. Cantera Morro Blanco

Los ensayos realizados del agregado grueso piedra chancada de la cantera Morro Blanco, según las normas vigentes como el Manual de Ensayo de Materiales, se muestran a continuación:

- Durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso piedra chancada
- Abrasión de los ángeles agregado grueso piedra chancada
- Ensayo para índice de durabilidad en piedra chancada
- Índice de aplanamiento y alargamiento agregado grueso piedra chancada
- Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso piedra chancada
- Sales solubles en agregado grueso piedra chancada
- Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – bitumen en piedra chancada
- Peso específico y absorción agregado grueso piedra chancada

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 22: Resumen de resultados de ensayos de agregado grueso piedra chancada y comparación con los requisitos de la norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud		Resultado	Observación
		<3000	>3000		
Pérdida de sulfato de magnesio	MTC E 209	18% Máx	15% Máx	11.65%	Cumple
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% Máx	35% Máx	21.37%	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214		35 % Mín	76.17%	Cumple
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221		15 % Máx	9.85%	Cumple
Partículas fracturadas	MTC E 210	60/40	85/50	95/92	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219		0.5% Máx	0.12%	Cumple
Adherencia	MTC E 519		+ 95	95	Cumple
Absorción	MTC E 206	0.5% Máx	Según diseño	0.94%	Cumple

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23: Resumen de resultados de ensayos de agregado grueso piedra chancada y comparación con los requisitos de la norma técnica Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud		Resultado	Observación
		<3000	>3000		
Pérdida de sulfato de magnesio	MTC E 209	18% Máx	15% Máx	11.65%	Cumple
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% Máx	35% Máx	21.37%	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 % Mín		76.17%	Cumple
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10 % Máx		9.85%	Cumple
Partículas fracturadas	MTC E 210	85/70	90/70	95/92	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% Máx		0.12%	Cumple
Adherencia	MTC E 519	+ 95		95	Cumple
Absorción	MTC E 206	1% Máx	1% Máx	0.94%	Cumple

Nota. Elaboración propia.

1.22.8.2. Agregado Fino

1.22.8.2.1. Cantera Morro Blanco

Los ensayos realizados del agregado fino arena triturada de la cantera Morro Blanco, según las normas vigentes como el Manual de Ensayo de Materiales, se muestran a continuación:

- Equivalente de arena agregado fino arena triturada
- Angularidad de agregado fino arena triturada
- Azul de metileno de agregado fino arena triturada
- Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos
- Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino arena triturada
- Ensayo para índice de durabilidad agregado fino arena triturada
- Índice de plasticidad malla N°40 agregado fino arena triturada
- Índice de plasticidad malla N°200 agregado fino arena triturada
- Sales solubles agregado fino arena triturada
- Peso específico y absorción agregado fino arena triturada

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 24: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena triturada y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm)		Resultado	Observación
		<3000	>3000		
Equivalente de arena	MTC E 114		50% Mín	83.00%	Cumple
Angularidad de agregado fino	MTC E 222		40% Mín	46.92%	Cumple
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% Mín	6% Mín	6	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214		35% Mín	46.05%	Cumple
Índice de plasticidad (Malla N°40)	MTC E 111	4 Máx	NP	No plástico	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219		0.5% Máx	0.15%	Cumple
Absorción	MTC E 205	0.5% Máx	Según diseño	0.43%	Cumple

Nota. Elaboración propia.

Tabla 25: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena triturada y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Ensayos	Norma	Requerimiento		Resultado	Observación
		<3000	>3000		
Equivalente de arena	MTC E 114	60% Mín	70% Mín	83.00%	Cumple
Angularidad de agregado fino	MTC E 222	30% Mín	40% Mín	46.92%	Cumple
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 Máx	8 Máx	5.73	Cumple
Pérdida de sulfato de magnesio	MTC E 209		18% Máx	11.30%	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 Mín	35 Mín	46.05%	Cumple
Índice de plasticidad (Malla N°40)	MTC E 111	NP	NP	No plástico	Cumple
Índice de plasticidad (Malla N°200)	MTC E 111	4 Máx	NP	No plástico	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219		0.5% Máx	0.15%	Cumple
Absorción	MTC E 205	0.5% Máx	0.5% Máx	0.43%	Cumple

Nota. Elaboración propia.

1.22.8.2.2. Cantera Cunyac

Los ensayos realizados del agregado fino arena natural de la cantera Cunyac, según las normas vigentes como el Manual de Ensayo de Materiales, se muestran a continuación:

- Equivalente de arena agregado fino arena natural
- Angularidad de agregado fino arena natural
- Azul de metileno de agregado fino arena natural
- Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos
- Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino arena natural
- Ensayo para índice de durabilidad agregado fino arena natural
- Índice de plasticidad malla N°40 agregado fino arena natural
- Índice de plasticidad malla N°200 agregado fino arena natural
- Sales solubles agregado fino arena natural
- Peso específico y absorción agregado fino arena natural

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 26: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena natural y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud		Resultado	Observación
		<3000	>3000		
Equivalente de arena	MTC E 114		50% Mín	82.49%	Cumple
Angularidad de agregado fino	MTC E 222		40% Mín	46.87%	Cumple
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% Mín	6% Mín	6	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214		35% Mín	44.60%	Cumple
Índice de plasticidad (Malla N°40)	MTC E 111	4 Máx	NP	No plástico	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219		0.5% Máx	0.33%	Cumple
Absorción	MTC E 205	0.5% Máx	Según diseño	0.40%	Cumple

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27: Resumen de resultados de ensayos de agregado fino arena natural y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Ensayos	Norma	Requerimiento		Resultado	Observación
		<3000	>3000		
Equivalente de arena	MTC E 114	60% Mín	70% Mín	82.49%	Cumple
Angularidad de agregado fino	MTC E 222	30% Mín	40% Mín	46.87%	Cumple
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 Máx	8 Máx	6.00	Cumple
Pérdida de sulfato de magnesio	MTC E 209		18% Máx	10.71%	Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 Mín	35 Mín	44.60%	Cumple
Índice de plasticidad (Malla N°40)	MTC E 111	NP	NP	No plástico	Cumple
Índice de plasticidad (Malla N°200)	MTC E 111	4 Máx	NP	No plástico	Cumple
Sales solubles totales	MTC E 219		0.5% Máx	0.33%	Cumple
Absorción	MTC E 205	0.5% Máx	0.5% Máx	0.40%	Cumple

Nota. Elaboración propia.

1.22.9. Caracterización de asfalto

Los ensayos realizados del asfalto PEN 85/100, según las normas vigentes como el Manual de Ensayo de Materiales, se muestran a continuación:

- Penetración y ductilidad del material bituminoso

Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 28: Resumen de resultados de ensayos de caracterización de asfalto PEN 85/100 y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

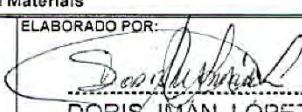
Ensayos	Norma	Requisitos		Resultado	Observaciones
		Mínimo	Máximo		
Penetración de los materiales bituminosos	MTC E 304	85	100	94.00	CUMPLE
Ductilidad de los materiales bituminosos	MTC E 306	100		104.30	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se tiene las siguientes características y/o propiedades de asfalto PEN 85/100

- Gravedad específica, Punto de ablandamiento (Anillo y bola) y otras características de material bituminoso

Figura 12: Gravedad específica, Punto de ablandamiento (Anillo y bola) y otras características de material bituminoso.

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN)			Nº SRCO-LAB-2247-2017	
FECHA DE REPORTE: 17.10.2017	FECHA DE RECEPCIÓN 16.10.2017	CÓDIGO DE MUESTRA : 16938		
HORA DE RECEPCIÓN: 09:40 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA PRODUCCION	BUQUE/TANQUE: -----		
TANQUE DE MUESTREO : 9	VOLUMEN CERTIFICADO: -----	DESTINO: PLANTA CONCHÁN		
ENSAYOS		MÉTODO ASTM ^(A)	OTRO MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS
ESPECIFICACIONES MIN. MAX.				
PENETRACIÓN:				
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm		D 5-13		96 85 100
DUCTILIDAD:				
a 25°C, 5 cm/min, cm		D 113-07		>150 100
FLUIDEZ:				
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt		D 2170-10		1871 Reportar
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt		D 2170-10		292 170
SOLUBILIDAD:				
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa		D 2042-15		99.7 99
VOLATILIDAD:				
Punto de Inflamación, C.O.C., °C		D 92-16a		276 232
DENSIDAD:				
Gravedad API a 60°F, °API		D 70-09 ⁽¹⁾		7.6 Reportar
Gravedad Específica a 60/60°F		D 70-09 ⁽¹⁾		1.017 Reportar
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:				
Punto de Ablandamiento, °C		D 36-14e1		46.0 Reportar
Indice de Penetración				-0.6 -1 1
Efecto de Calor y Aire (Pelicula Fina):		D 1754-09(2014)		
- Pérdida por calentamiento, % masa				0.1 1.0
- Penetración Retenida, % del Original		D 5-13		61 47+
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm		D 113-07		>150 75
OBSERVACIONES:				
1. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN SÓLO A LA MUESTRA ANALIZADA.				
2. LA MUESTRA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.				
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 134 y 152°C				
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.				
3.(A):American Society for Testing and Materials				
ORIGINAL : CLIENTE COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO COPIA 2 : INFORME DE ENSAYO DE PRODUCTOS	ELABORADO POR:  DORIS IMÁN LOPEZ Ficha N° 55457	APROBADO POR:  MICHAEL FIGUEROA DUTHURIBURU FICHA N° 55130 SOP N° 932		

1.22.10. Caracterización de filler

El ensayo realizado del filler cemento Yura IP, según las normas vigentes como el Manual de Ensayo de Materiales, se muestran a continuación:

- Granulometría de filler cemento Yura tipo IP

Tabla 29: Resumen de resultados de ensayos de caracterización de cemento Yura IP y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Ensayos	Norma	Requisitos		Resultado	Observaciones
		Mínimo	Máximo		
Porcentaje que pasa tamiz N°200	MTC E 204	100%	100%	100%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se tiene las siguientes características y/o propiedades de filler cemento Yura IP.

- Densidad y otras características técnicas de cemento Yura tipo IP

Figura 13: Densidad de cemento Yura tipo IP

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		Requisitos		CEMENTO YURA
REQUISITOS QUÍMICOS	UNIDAD	Norma Técnica Peruana 334.090:2020 y Norma Americana ASTM C595/C595M-20 CEMENTO TIPO IP		MULTI-PROPOSITO TIPO IP
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6.0		1.5 a 3.0
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	máximo 4.0		1.5 a 3.0
Pérdida de ignición	%	máximo 5.0		1.5 a 4.0
REQUISITOS FÍSICOS				
Densidad	g/cm ³			2.70 a 2.8
Contracción / Expansión en Autoclave	%	-0.20 a 0.80	-0.09 a 0.05	
Tiempo de freguado inicial Vicat	minutos	45 a 420	140 a 260	
Contenido de aire	%	máximo 12	3 a 8	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
3 días	kgf/cm ²	mínimo 133	150 a 210	
7 días	kgf/cm ²	mínimo 204	210 a 240	
28 días	kgf/cm ²	mínimo 255	290 a 360	
RESISTENCIA A LOS SULFATOS				
Expansión a 6 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.05	< 0.05	
Expansión a 12 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.10	< 0.07	

Nota. Extraída de Ficha técnica 2024/V.1. Cemento Yura.

1.23. Diseño de mezcla asfáltica en caliente patrón

Para el diseño de mezcla asfáltica caliente se realizó de acuerdo a las normas técnicas vigentes, considerando 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%. Para la cual se siguió los siguientes pasos:

- Análisis y granulometría de los agregados
- Análisis y granulometría del agregado grueso

Análisis y granulometría del agregado fino

- Determinación de la proporción de la combinación de agregados que se ajuste a la gradación de los husos granulométricos propuestos por las normas técnicas vigentes.
- Determinación de temperatura de mezcla y compactación
- Preparación de mezcla
- Medición de los especímenes
- Determinación del peso específico bulk de las muestras compactadas
- Determinación de la gravedad teórica máxima
- Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall
- Graficar porcentaje de asfalto vs parámetros de la mezcla asfáltica
- Graficar porcentaje de asfalto vs Gmb
- Graficar porcentaje de asfalto vs %Va
- Graficar porcentaje de asfalto vs VMA
- Graficar porcentaje de asfalto vs VFA
- Graficar porcentaje de asfalto vs Estabilidad
- Graficar porcentaje de asfalto vs Flujo
- Graficar porcentaje de asfalto vs Relación estabilidad/flujo
- Graficar porcentaje de asfalto vs Relación polvo-asfalto
- Determinación del contenido óptimo de asfalto

1.23.1. Granulometría de agregados

1.23.1.1. Granulometría de agregado grueso piedra chancada

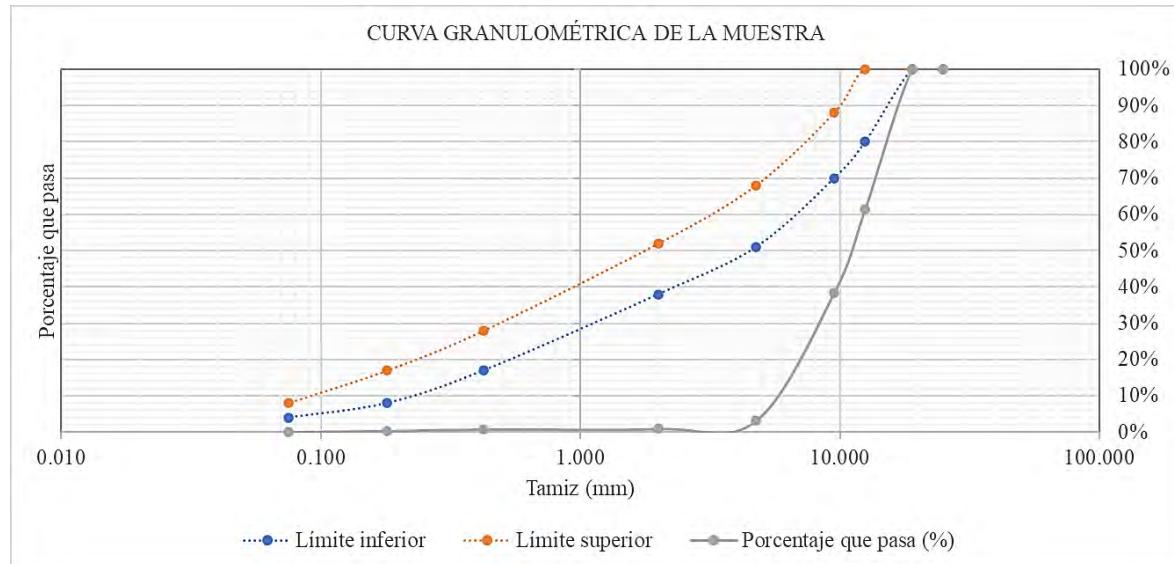
De la granulometría de agregado grueso piedra chacada se tiene el siguiente resultado:

Tabla 30: *Granulometría de agregado grueso piedra chancada.*

Tamiz Normal (mm)	Peso retenido alterno (gr)	Peso retenido corregido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límite inferior	Límite superior
25.000	1"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
19.000	3/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
12.500	1/2"	962.25	38.57%	962.35	38.57%	61.43%	80%	100%
9.500	3/8"	574.12	23.01%	1536.57	61.58%	38.42%	70%	88%
4.750	N. ^o 4	880.45	35.29%	2417.12	96.87%	3.13%	51%	68%
2.000	N. ^o 10	55.04	2.21%	2472.26	99.08%	0.92%	38%	52%
0.425	N. ^o 40	3.04	0.13%	2475.40	99.21%	0.79%	17%	28%
0.180	N. ^o 80	10.69	0.43%	2486.19	99.64%	0.36%	8%	17%
0.075	N. ^o 200	7.63	0.31%	2493.92	99.95%	0.05%	4%	8%
0.000	Cazuela	1.11	0.05%	2495.13	100.00%	0.00%		
Total		2494.33	100.00%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 14: *Curva granulométrica de agregado grueso piedra chancada.*



Nota. Elaboración propia.

1.23.1.2. Granulometría de agregado fino

1.23.1.2.1. Granulometría de agregado fino arena triturada

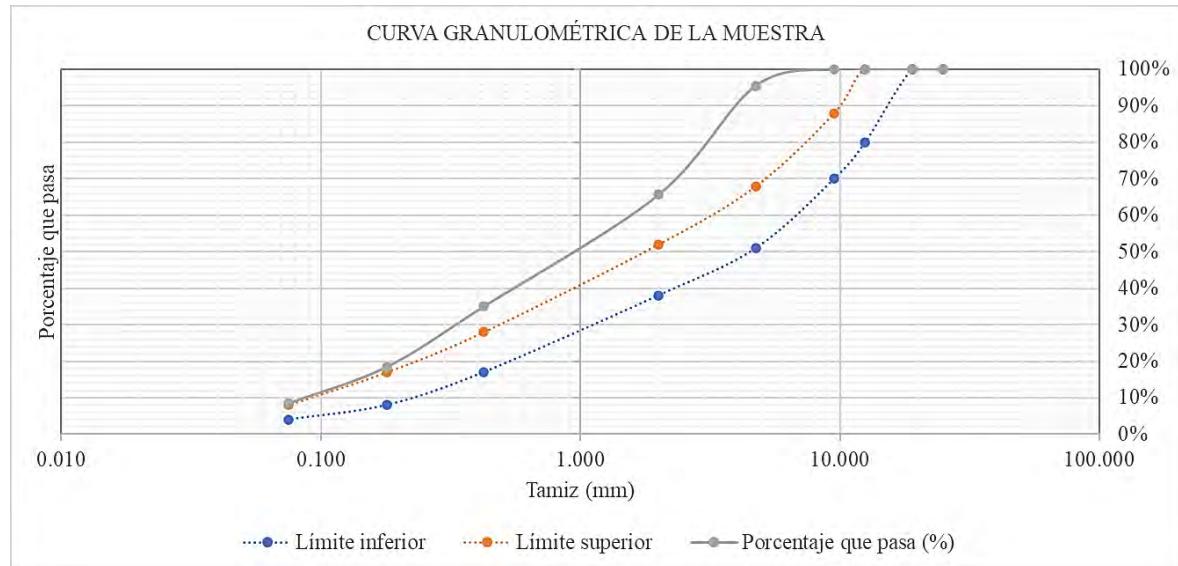
De la granulometría de agregado fino arena triturada se tiene el siguiente resultado:

Figura 15: Granulometría de agregado fino arena triturada.

Tamiz Normal (mm)	Peso retenido alterno (gr)	Peso retenido corregido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límite inferior	Límite superior
25.000	1"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
19.000	3/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
12.500	1/2"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	80%	100%
9.500	3/8"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	70%	88%
4.750	N. ^o 4	67.02	4.49%	67.33	4.49%	95.51%	51%	68%
2.000	N. ^o 10	448.49	29.90%	516.13	34.39%	65.61%	38%	52%
0.425	N. ^o 40	458.37	30.56%	974.81	64.94%	35.06%	17%	28%
0.180	N. ^o 80	247.51	16.51%	1222.63	81.45%	18.55%	8%	17%
0.075	N. ^o 200	150.13	10.02%	1373.07	91.48%	8.52%	4%	8%
0.000	Cazuela	127.64	8.52%	1501.02	100.00%	0.00%		
Total		1499.16	100.00%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 16: Curva granulométrica de agregado fino arena triturada.



Nota. Elaboración propia.

1.23.1.2.2. Granulometría de agregado fino arena natural

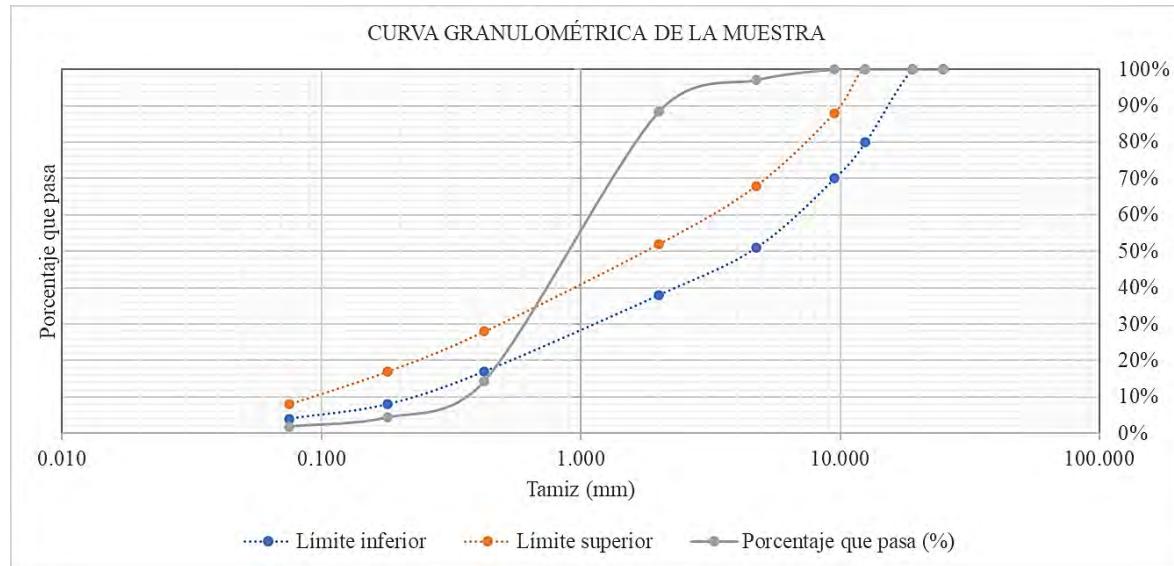
De la granulometría de agregado fino arena natural se tiene el siguiente resultado:

Tabla 31: Granulometría de agregado fino arena natural.

Tamiz Normal (mm)	Peso retenido alterno (gr)	Peso retenido corregido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Límite inferior	Límite superior
25.000	1"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
19.000	3/4"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%
12.500	1/2"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	80%	100%
9.500	3/8"	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	70%	88%
4.750	N.º 4	43.83	2.95%	43.92	2.95%	97.05%	51%	68%
2.000	N.º 10	128.82	8.66%	172.83	11.61%	88.39%	38%	52%
0.425	N.º 40	1103.53	74.11%	1276.45	85.71%	14.29%	17%	28%
0.180	N.º 80	148.51	9.98%	1425.05	95.69%	4.31%	8%	17%
0.075	N.º 200	37.78	2.54%	1462.92	98.23%	1.77%	4%	8%
0.000	Cazuela	26.25	1.77%	1489.26	100.00%	0.00%		
Total		1488.72	100.00%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 17: Curva granulométrica de agregado fino arena natural.



1.23.1.3. Combinación de agregados

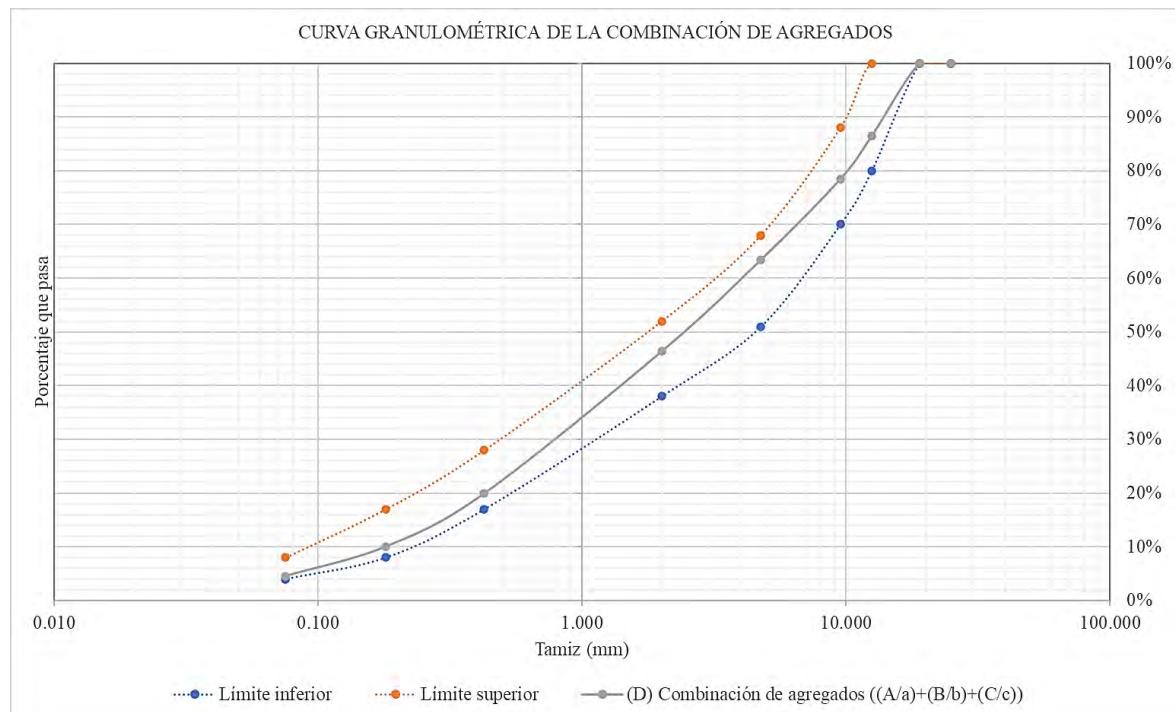
De la combinación del agregado grueso y de los agregados finos se tiene:

Tabla 32: *Granulometría de agregado combinado.*

Tamiz		Porcentajes que pasan				Límite inferior	Límite superior
		(A) Piedra Chancada	(B) Arena triturada	(C) Arena natural	(D) Combinación de agregados $((A/a)+(B/b)+(C/c))$		
Normal (mm)	Alterno	(a) 35.00%	(b) 50.00%	(c) 15.00%	100.00%		
25.000	1"	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100%	100%
19.000	3/4"	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100%	100%
12.500	1/2"	61.43%	100.00%	100.00%	86.50%	80%	100%
9.500	3/8"	38.42%	100.00%	100.00%	78.45%	70%	88%
4.750	N.º 4	3.13%	95.51%	97.05%	63.41%	51%	68%
2.000	N.º 10	0.92%	65.61%	88.39%	46.39%	38%	52%
0.425	N.º 40	0.79%	35.06%	14.29%	19.95%	17%	28%
0.180	N.º 80	0.36%	18.55%	4.31%	10.05%	8%	17%
0.075	N.º 200	0.05%	8.52%	1.77%	4.54%	4%	8%

Nota. Elaboración propia.

Figura 18: *Curva granulométrica de agregado combinado.*



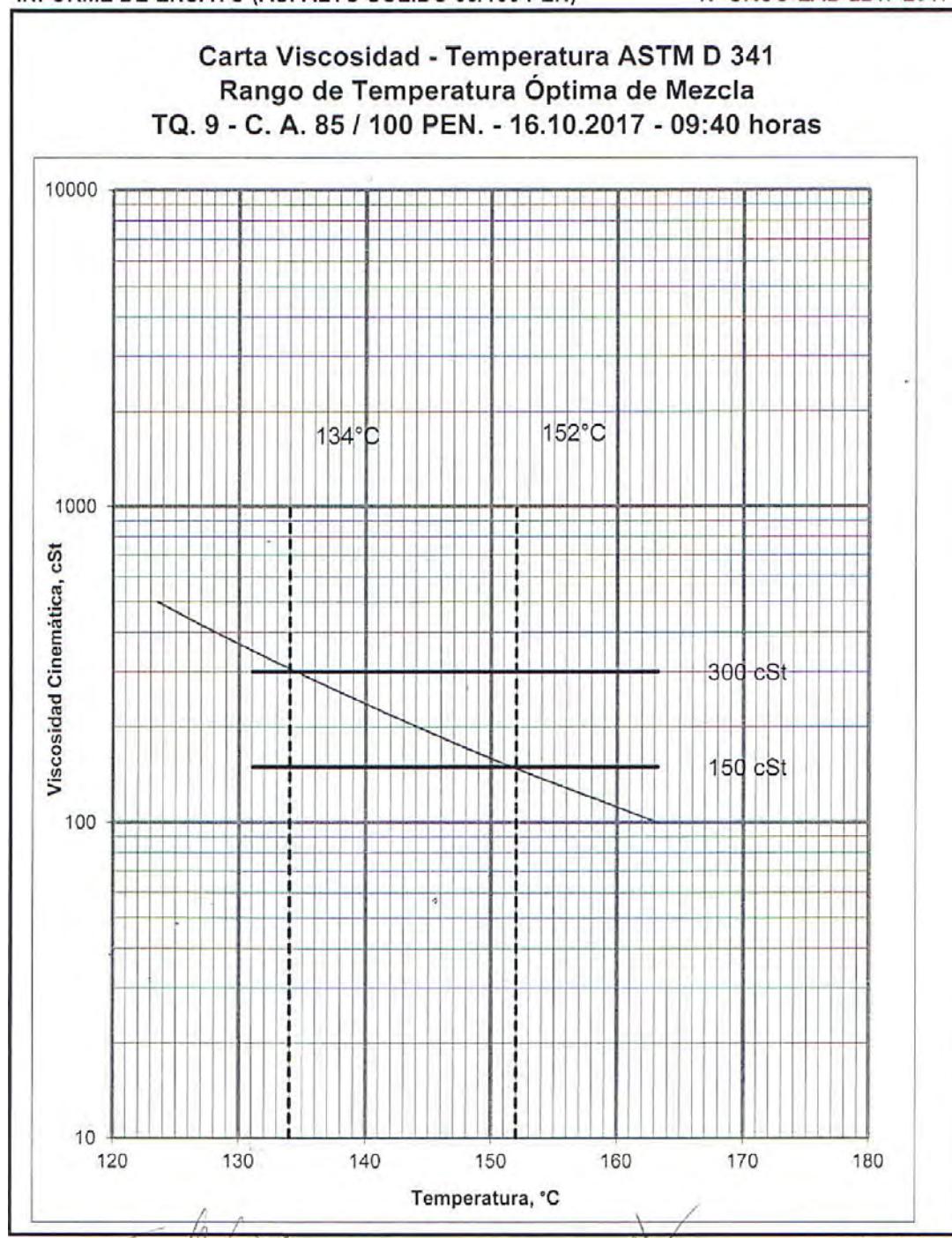
Nota. Elaboración propia.

1.23.2. Determinación de la temperatura de mezcla y compactación

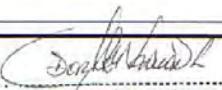
Figura 19: Carta viscosidad 85/100 PEN

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SOLIDO 85/100 PEN)

Nº SRCO-LAB-2247-2017



Pag 2 de 2


DORIS IMÁN LÓPEZ
Ficha N° 55457


MICHAEL FIGUEROA DUTHURUBURU
FICHA N° 55130
COP N° 932

Nota. Extraído de Informe de ensayo (Asfalto Sólido 85/100 PEN NºSRCO-LAB-2247-2017)

De la figura anterior se obtiene que la temperatura de mezcla es 152 °C y la temperatura de compactación es 134 °C, del cemento asfáltico PEN 85/100.

1.23.3. Preparación de especímenes MAC

La preparación de los especímenes se realizará de acuerdo a la norma MTC E 504 Resistencia De Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall, para lo cual se preparan briquetas tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 33: Preparación de cantidades para elaboración de briquetas de mezclas asfálticas.

Briquetas de muestra asfáltica							
Peso aproximado por briqueta [gr]	1200.00						
% De asfalto [%]	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
% De agregados [%]	96.00%	95.50%	95.00%	94.50%	94.00%	93.50%	93.00%
Cantidad de briquetas [und]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Peso total del agregado [gr]	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00	1122.00	1116.00
Tamiz	Retenido [%]	Peso retenido [gr]					
1/2"	13.50%	155.51	154.70	153.89	153.08	152.27	151.46
3/8"	8.05%	92.79	92.31	91.82	91.34	90.86	90.37
Nº 4	15.04%	173.23	172.32	171.42	170.52	169.62	168.71
Nº 10	17.02%	196.09	195.07	194.05	193.03	192.00	190.98
Nº 40	26.44%	304.57	302.99	301.40	299.82	298.23	296.64
Nº 80	9.90%	114.08	113.49	112.90	112.30	111.71	111.11
Nº 200	5.50%	63.37	63.04	62.71	62.38	62.05	61.72
% Filler natural	4.54%	52.35	52.08	51.81	51.53	51.26	50.99
Total	100.00%	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00	1122.00
Peso de cemento asfáltico [gr]		48.00	54.00	60.00	66.00	72.00	78.00
Peso total de la briqueta [gr]		1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Nota. Elaboración propia.

De la tabla anterior, se prepara 31 briquetas para el determinar el contenido óptimo de asfalto.

1.23.4. Medición de los especímenes MAC

De la medición de altura y diámetro de las mezclas asfálticas en caliente se tiene los siguientes resultados:

Tabla 34: Resultado de la medición de altura y diámetro de los especímenes de las MAC.

Espécimen	Contenido de asfalto	h _{media} [mm]	D _{media} [mm]	Área [mm ²]	Volumen [cm ³]
B1		65.0	102.0	8171.3	531.13
B2	4.00%	64.7	102.1	8187.3	529.72
B3		64.8	102.0	8171.3	529.50

B4		64.1	102.0	8171.3	523.78
B5	4.50%	64.0	102.0	8171.3	522.96
B6		63.9	101.9	8155.3	521.12
B7		63.8	102.0	8171.3	521.33
B8	5.00%	63.7	101.9	8155.3	519.49
B9		63.8	102.0	8171.3	521.33
B10		63.3	101.9	8155.3	516.23
B11	5.50%	62.8	101.9	8155.3	512.15
B12		63.2	102.0	8171.3	516.43
B13		62.2	102.0	8171.3	508.25
B14	6.00%	62.3	101.9	8155.3	508.07
B15		62.4	102.0	8171.3	509.89
B16		62.6	101.9	8155.3	510.52
B17	6.50%	62.8	101.9	8155.3	512.15
B18		62.5	101.9	8155.3	509.70
B19		62.5	101.9	8155.3	509.71
B20	7.00%	62.8	101.9	8155.3	512.15
B21		62.5	101.9	8155.3	509.70

Nota. Elaboración propia.

Altura y diámetro necesario para la determinación del peso específico bulk de las MAC.

1.23.5. Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC

De los especímenes elaborados de MAC se tiene los siguientes pesos específicos bulk:

Tabla 35: Resultado de peso específico aparente o bulk de los especímenes de las MAC.

% De asfalto	Espécimen	Gmb Peso específico aparente o bulk a 25°C	Promedio Peso específico aparente bulk a 25°C Gmb	Peso unitario (Gmb*0,9970) [gr/cm3]	Promedio Peso unitario [gr/cm3]
4.00%	B1	2.313		2.3062	
	B2	2.312	2.313	2.3047	2.3063
	B3	2.315		2.3081	
4.50%	B4	2.325		2.3183	
	B5	2.325	2.326	2.3180	2.3186
	B6	2.326		2.3195	
5.00%	B7	2.339		2.3324	
	B8	2.341	2.340	2.3340	2.3327

	B9	2.339		2.3316
	B10	2.352		2.3448
5.50%	B11	2.354	2.353	2.3465
	B12	2.353		2.3455
	B13	2.359		2.3518
6.00%	B14	2.358	2.358	2.3511
	B15	2.357		2.3495
	B16	2.364		2.3570
6.50%	B17	2.365	2.365	2.3581
	B18	2.366		2.3590
	B19	2.363		2.3554
7.00%	B20	2.362	2.363	2.3551
	B21	2.364		2.3570

Nota. Elaboración propia.

Peso específico bulk necesario para determinar los parámetros volumétricos de las MAC.

1.23.6. Determinación de la gravedad teórica máxima de las MAC

De los especímenes elaborados de MAC se tiene las siguientes gravedades teóricas máximas:

Tabla 36: Resultado de gravedad específica teórica máxima de los especímenes de las MAC.

% De asfalto	Espécimen	Gmm Gravedad específica teórica máxima	Gmm Gravedad específica teórica máxima	Densidad teórica máxima (Gmm*0,9970) [gr/cm ³]	Promedio Densidad teórica máxima [gr/cm ³]
	B1	2.470		2.4622	
4.00%	B2	2.465	2.469	2.4573	2.4611
	B3	2.471		2.4638	
	B4	2.465		2.4581	
4.50%	B5	2.463	2.465	2.4560	2.4579
	B6	2.467		2.4597	
	B7	2.462		2.4543	
5.00%	B8	2.463	2.462	2.4559	2.4549
	B9	2.462		2.4545	
	B10	2.456		2.4484	
5.50%	B11	2.458	2.456	2.4502	2.4486
	B12	2.454		2.4471	
6.00%	B13	2.446	2.446	2.4385	2.4388
	B14	2.447		2.4396	

	B15	2.446		2.4382	
	B16	2.436		2.4284	
6.50%	B17	2.433	2.436	2.4256	2.4290
	B18	2.440		2.4330	
	B19	2.419		2.4119	
7.00%	B20	2.417	2.419	2.4093	2.4117
	B21	2.421		2.4138	

Nota. Elaboración propia.

Gravedad teórica máxima necesario para determinar los parámetros volumétricos de las MAC.

1.23.7. Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall

De los especímenes elaborados de MAC se tiene los siguientes resultados:

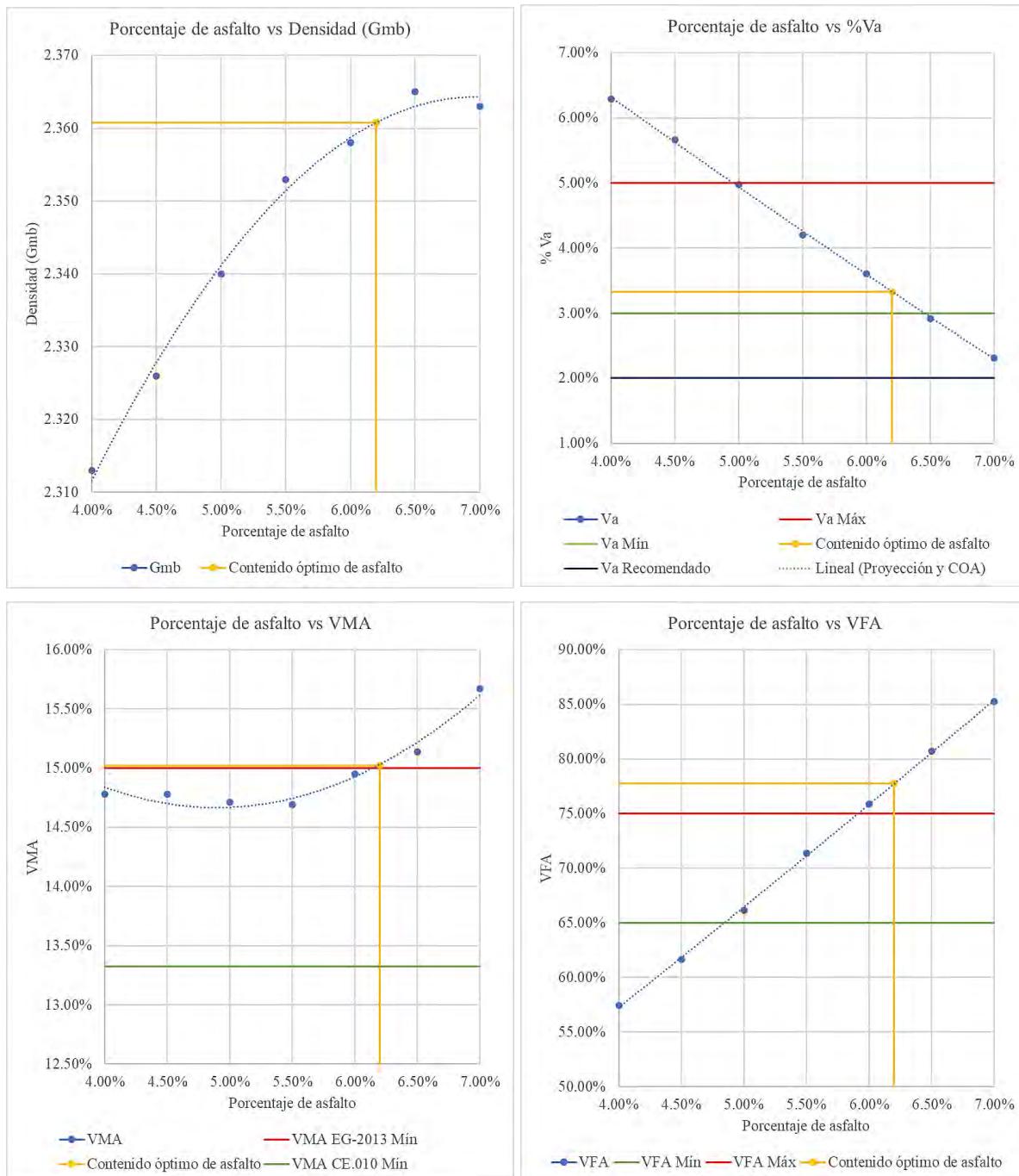
Figura 20: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall.

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - MTC E 504																					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																					
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac			Gb Gravedad específica del asfalto:			1.017			Gsb piedra chancada			2.622								
Ubicación:	Cusco			Porcentaje piedra chancada:			35.00%			Gsb arena triturada			2.606								
Material:	Agregado fino y grueso			Porcentaje arena triturada:			50.00%			Gsb arena natural			2.568								
Muestra:	Combinación de agregados + asfalto			Porcentaje arena natural:			15.00%			Gsb Gravedad específica neta del agregado:			2.606								
Descripción	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5			Muestra 6			Muestra 7		
Nº de briqueta	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21
Pb - Porcentaje de asfalto	4.00%			4.50%			5.00%			5.50%			6.00%			6.50%			7.00%		
Ps - Porcentaje de agregado combinado	96.00%			95.50%			95.00%			94.50%			94.00%			93.50%			93.00%		
Pf - Porcentaje de filler natural	4.36%			4.34%			4.32%			4.29%			4.27%			4.25%			4.23%		
Gmb - Gravedad específica bulk	2.313	2.312	2.315	2.325	2.325	2.326	2.339	2.341	2.339	2.352	2.354	2.353	2.359	2.358	2.357	2.364	2.365	2.366	2.363	2.362	2.364
Gmb - Promedio (gr/cm ³)	2.313			2.326			2.340			2.353			2.358			2.365			2.363		
Peso unitario (gr/cm ³)	2.3062	2.3047	2.3081	2.3183	2.3180	2.3195	2.3324	2.3340	2.3316	2.3448	2.3465	2.3455	2.3518	2.3511	2.3495	2.3570	2.3581	2.3590	2.3554	2.3551	2.3570
Densidad promedio (gr/cm ³)	2.306			2.319			2.333			2.346			2.351			2.358			2.356		
Gmm - Gravedad específica máxima (gr/cm ³)	2.470	2.465	2.471	2.465	2.463	2.467	2.462	2.463	2.462	2.456	2.458	2.454	2.446	2.447	2.446	2.436	2.433	2.440	2.419	2.417	2.421
Gmm - Promedio (gr/cm ³)	2.469			2.465			2.462			2.456			2.446			2.436			2.419		
Densidad teórica máxima (gr/cm ³)	2.462	2.457	2.464	2.458	2.456	2.460	2.454	2.456	2.454	2.448	2.450	2.447	2.439	2.440	2.438	2.428	2.426	2.433	2.412	2.409	2.414
Promedio Densidad teórica máxima (gr/cm ³)	2.461			2.458			2.455			2.449			2.439			2.429			2.412		
Flujo 0,01" (0,25 mm)	7.00	6.00	7.00	7.00	8.00	8.00	9.00	8.00	9.00	10.00	9.00	9.00	10.00	11.00	10.00	11.00	13.00	12.00	16.00	14.00	13.00
Flujo media 0,01" (0,25 mm)	6.67			7.67			8.67			9.33			10.33			12.00			14.33		
Flujo (cm)	0.18	0.15	0.18	0.18	0.20	0.20	0.23	0.20	0.23	0.25	0.23	0.23	0.25	0.28	0.25	0.28	0.33	0.30	0.41	0.36	0.33
Flujo media (cm)	0.17			0.19			0.22			0.24			0.26			0.30			0.37		
Factor de corrección por volumen	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Estabilidad (lbf)	1542.5	1498.5	1578.4	1720.5	1749.4	1696.9	1825.5	1868.4	1845.8	1946	2042.9	2090.5	2098.7	2117.4	2107.3	2154.8	2189.5	2136.8	2047.2	2042.5	2095.3
Estabilidad (kgf)	699.67	679.71	715.95	780.41	793.51	769.7	828.03	847.49	837.24	882.69	926.64	948.23	951.95	960.44	955.85	977.4	993.14	969.24	928.59	926.46	950.41
Estabilidad corregida (kgf)	671.68	652.52	687.31	749.19	761.77	769.7	828.03	847.49	837.24	882.69	926.64	948.23	990.03	998.86	955.85	977.4	993.14	969.24	928.59	926.46	950.41
Estabilidad media corregida (kgf)	670.50			760.22			837.59			919.19			981.58			979.93			935.15		
Estabilidad (KN)	6.86	6.67	7.02	7.65	7.78	7.55	8.12	8.31	8.21	8.66	9.09	9.3	9.34	9.42	9.37	9.59	9.74	9.5	9.11	9.09	9.32
Estabilidad corregida (KN)	6.59	6.4	6.74	7.34	7.47	7.55	8.12	8.31	8.21	8.66	9.09	9.3	9.71	9.8	9.37	9.59	9.74	9.5			

1.23.8. Gráficas porcentaje de asfalto vs parámetros de la mezcla asfáltica

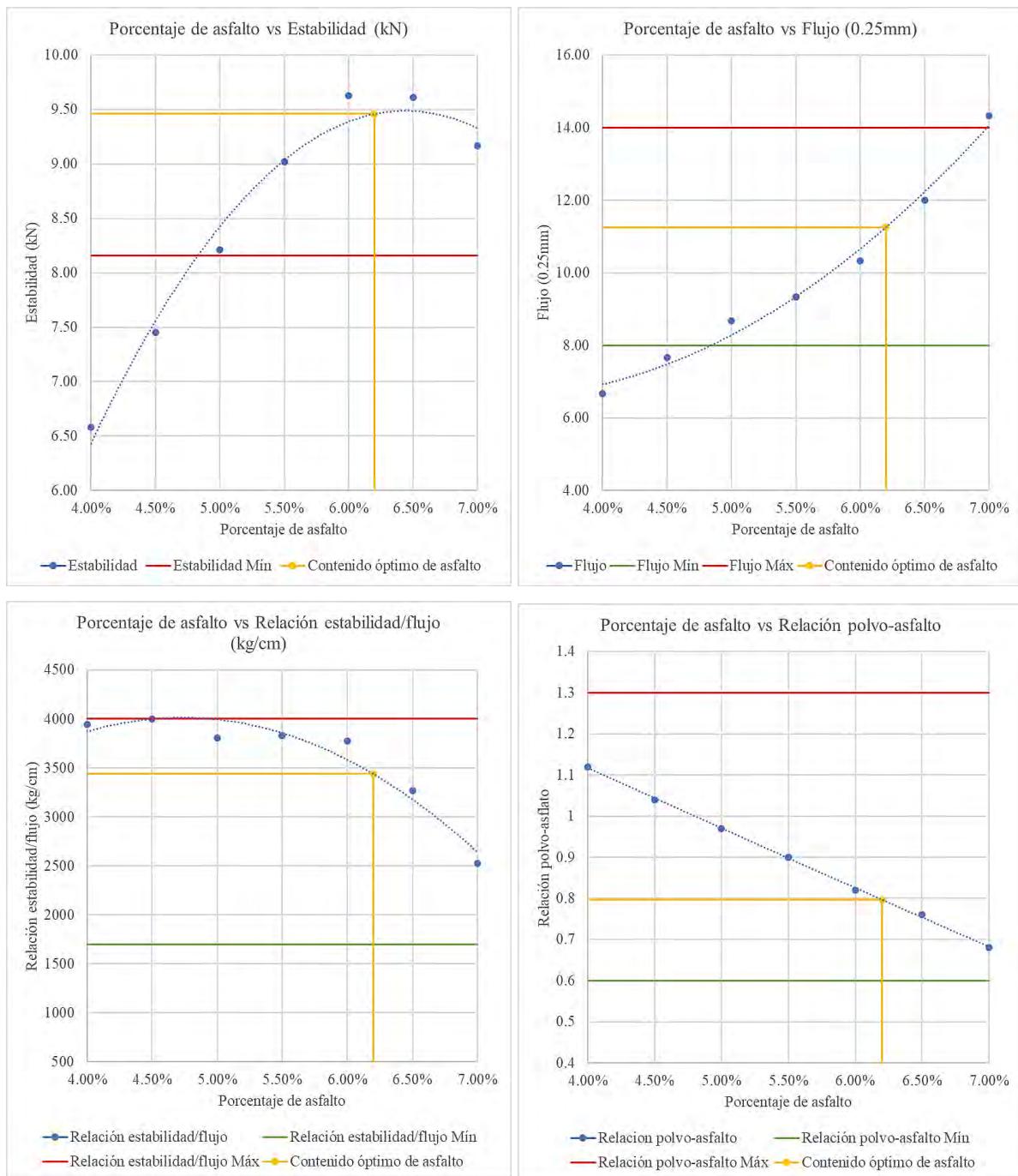
De la figura anterior se obtiene los siguientes gráficos:

Figura 21: Gráficas Porcentaje de asfalto vs Gmb, %Va, VMA y VFA. Parte I.



Nota. Elaboración propia.

Figura 22: Gráficas Porcentaje de asfalto vs Estabilidad, Flujo, Relación estabilidad/flujo y Relación polvo-asfalto. Parte II.



Nota. Elaboración propia.

1.23.9. Determinación del contenido óptimo de asfalto

De los gráficos anteriores el porcentaje del contenido óptimo de asfalto es 6.20%. Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 37: Resumen de resultados del diseño de mezclas asfálticas caliente por la metodología Marshall y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos			Mezcla asfáltica patrón	Observaciones
	Mínimo	Máximo	Teórica		
Estabilidad Mínima, kN		8.16	9.46	CUMPLE	
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	11.26	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.33%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	13.33%		15.02%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	77.77%	NO CUMPLE	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 38: Resumen de resultados del diseño de mezclas asfálticas caliente por la metodología Marshall y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos			Mezcla asfáltica patrón	Observaciones
	Mínimo	Máximo	Teórica		
Estabilidad Mínima, kN		8.15	9.46	CUMPLE	
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	11.26	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.33%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		15.02%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	77.77%	NO CUMPLE	
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	0.80	CUMPLE	
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	3437.88	CUMPLE	

Nota. Elaboración propia.

1.24. Diseño de mezcla asfáltica en caliente adicionando cemento comercial como filler

1.24.1. Preparación de especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler

La preparación de los especímenes se realizará de acuerdo a la norma MTC E 504 Resistencia De Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall, para lo cual se preparan briquetas tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 39: Preparación de cantidades para elaboración de briquetas de mezclas asfálticas con adición de cemento como filler.

DATOS DE LA MUESTRA						
Peso aproximado por briqueta [gr]						1200.00
% De asfalto [%]						6.20%
% De agregados [%]	93.80%	93.80%	93.80%	93.80%	93.80%	93.80%
% De cemento adicionado como filler (C/R Agregados) [%]	0.00%	1.00%	2.00%	4.00%	8.00%	
Cantidad de briquetas [und]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Peso total del agregado [gr]	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60
Tamiz	Retenido [%]	Peso retenido [gr]				
1/2"	13.50%	151.95	151.95	151.95	151.95	151.95
3/8"	8.05%	90.66	90.66	90.66	90.66	90.66
Nº 4	15.04%	169.26	169.26	169.26	169.26	169.26
Nº 10	17.02%	191.60	191.60	191.60	191.60	191.60
Nº 40	26.44%	297.59	297.59	297.59	297.59	297.59
Nº 80	9.90%	111.47	111.47	111.47	111.47	111.47
Nº 200	5.50%	61.92	61.92	61.92	61.92	61.92
% Filler natural	4.54%	51.15	51.15	51.15	51.15	51.15
Total	100.00%	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60
Peso de cemento asfáltico [gr]		74.40	74.40	74.40	74.40	74.40
Peso de cemento adicionado como filler [gr]		0.00	11.26	22.51	45.02	90.05
Peso total de la briqueta [gr]		1200.00	1211.26	1222.51	1245.02	1290.05

Nota. Elaboración propia.

1.24.2. Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler

De la medición de altura y diámetro de las mezclas asfálticas en caliente con 6.20% de asfalto se tiene los siguientes resultados:

Tabla 40: Resultado de la medición de altura y diámetro de los especímenes de las MAC adicionando cemento como filler.

Espécimen	Contenido de cemento adicionado como filler	h_{media} [mm]	D_{media} [mm]	Área [mm ²]	Volumen [cm ³]
B1	0.00%	62.5	101.9	8155.3	509.71
B2		62.1	101.9	8155.3	506.44

B3		62.3	101.9	8155.3	508.07
B4		62.9	102.2	8203.4	515.99
B5	1.00%	62.4	101.8	8139.3	507.89
B6		62.7	102.0	8171.3	512.34
B7		61.7	101.9	8155.3	503.18
B8	2.00%	62.9	101.9	8155.3	512.97
B9		62.3	101.9	8155.3	508.07
B10		66.5	102.0	8171.3	543.39
B11	4.00%	63.2	101.9	8155.3	515.41
B12		64.9	101.9	8155.3	529.28
B13		62.9	101.9	8155.3	512.97
B14	8.00%	65.7	101.9	8155.3	535.80
B15		64.4	101.9	8155.3	525.20

Nota. Elaboración propia.

1.24.3. Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler

De los especímenes elaborados de MAC con 6.20% de asfalto adicionado cemento como filler se tiene los siguientes pesos específicos bulk:

Tabla 41: Resultado de peso específico aparente o bulk de los especímenes de las MAC adicionando cemento como filler.

% De Cemento adicionado	Especimen	Gmb Peso específico aparente o bulk a 25°C	Promedio Peso específico aparente bulk a 25°C Gmb	Peso unitario (Gmb*0,9970) [gr/cm3]	Promedio Peso unitario [gr/cm3]
0.00%	B1	2.360		2.3531	
	B2	2.364	2.362	2.3564	2.3545
	B3	2.361		2.3538	
1.00%	B4	2.383		2.3763	
	B5	2.375	2.381	2.3682	2.3736
	B6	2.383		2.3763	
2.00%	B7	2.394	2.393	2.3871	2.3855

	B8	2.393		2.3857
	B9	2.391		2.3835
	B10	2.412		2.4049
4.00%	B11	2.397	2.404	2.3898
	B12	2.403		2.3953
	B13	2.382		2.3745
8.00%	B14	2.378	2.379	2.3712
	B15	2.376		2.3692

Nota. Elaboración propia.

1.24.4. Determinación de la gravedad teórica máxima de las MAC adicionando cemento comercial como filler

De los especímenes elaborados de MAC se tiene las siguientes gravedades teóricas máximas:

Tabla 42: Resultado de gravedad específica teórica máxima de los especímenes de las MAC adicionado cemento como filler.

% De cemento adicionado	Espécimen	Gmm Gravedad específica téctica máxima	Gmm Gravedad específica téctica máxima	Densidad teórica máxima (Gmm*0,9970) [gr/cm3]	Promedio Densidad teórica máxima [gr/cm3]
0.00%	B1	2.441		2.4341	
	B2	2.442	2.441	2.4351	2.4337
	B3	2.439		2.4320	
1.00%	B4	2.445		2.4375	
	B5	2.444	2.443	2.4362	2.4355
	B6	2.440		2.4328	
2.00%	B7	2.445		2.4378	
	B8	2.447	2.447	2.4393	2.4396
	B9	2.449		2.4417	
4.00%	B10	2.453		2.4460	
	B11	2.449	2.452	2.4416	2.4447
	B12	2.454		2.4465	
8.00%	B13	2.459		2.4514	
	B14	2.456	2.458	2.4489	2.4503
	B15	2.458		2.4507	

Nota. Elaboración propia.

**1.24.5. Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato
Marshall**

Figura 23: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el Aparato Marshall adicionando cemento comercial como filler.

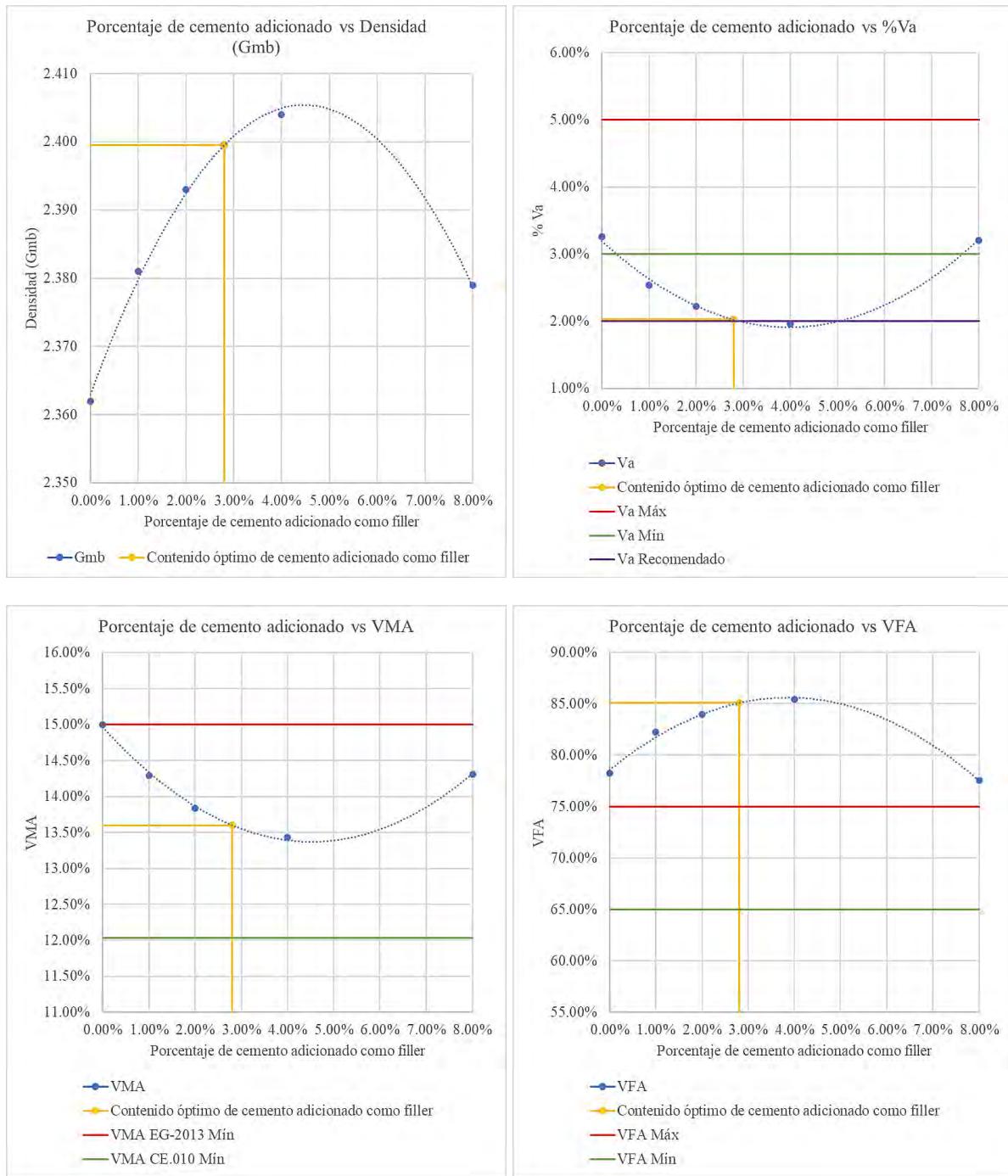
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - MTC E 504															
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA															
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac			Gb Gravedad específica del asfalto:			1.017	Gsb piedra chancada			2.622				
Ubicación:	Cusco			Porcentaje piedra chancada:			35.00%	Gsb arena triturada			2.606				
Material:	Comb. Agregados			Porcentaje arena triturada:			50.00%	Gsb arena natural			2.568				
Muestra:	Comb. agregados + asfalto + cemento			Porcentaje arena natural:			15.00%	Gsb cemento			2.750				
Descripción	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4			Muestra 5		
Nº de briqueta	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
Pb - Porcentaje de asfalto	6.20%			6.14%			6.09%			5.98%			5.77%		
Ps - Porcentaje de agregado combinado	93.80%			93.86%			93.91%			94.02%			94.23%		
Ps - Porcentaje de filler combinado	4.26%			5.15%			6.03%			7.72%			10.95%		
Porcentaje de cemento adicionado como filler	0.00%			1.00%			2.00%			4.00%			8.00%		
Gsb Gravedad específica neta del agregado adicionando	2.606			2.607			2.608			2.611			2.616		
Gimb - Gravedad específica bulk	2.360	2.364	2.361	2.383	2.375	2.383	2.394	2.393	2.391	2.412	2.397	2.403	2.382	2.378	2.376
Gimb - Promedio (gr/cm ³)	2.362			2.381			2.393			2.404			2.379		
Peso unitario (gr/cm ³)	2.353	2.356	2.354	2.376	2.368	2.376	2.387	2.386	2.384	2.405	2.390	2.395	2.374	2.371	2.369
Densidad promedio (gr/cm ³)	2.354			2.374			2.385			2.397			2.372		
Gmm - Gravedad específica máxima (gr/cm ³)	2.441	2.442	2.439	2.445	2.444	2.440	2.445	2.447	2.449	2.453	2.449	2.454	2.459	2.456	2.458
Gmm - Promedio (gr/cm ³)	2.441			2.443			2.447			2.452			2.458		
Densidad teórica máxima (gr/cm ³)	2.434	2.435	2.432	2.438	2.436	2.433	2.438	2.439	2.442	2.446	2.442	2.446	2.451	2.449	2.451
Promedio Densidad teórica máxima (gr/cm ³)	2.434			2.435			2.440			2.445			2.450		
Flujo 0,01" (0,25 mm)	11.00	11.00	10.00	10.00	11.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.00	10.00	10.00	9.00	10.00	9.00
Flujo media 0,01" (0,25 mm)	10.67			10.33			10.00			9.67			9.33		
Flujo (cm)	0.28	0.28	0.25	0.25	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25	0.23	0.25	0.25	0.23	0.25	0.23
Flujo media (cm)	0.27			0.26			0.25			0.24			0.24		
Factor de corrección por volumen	1.00	1.04	1.04	1.00	1.04	1.00	1.04	1.00	1.04	0.93	1.00	0.96	1.00	0.93	0.96
Estabilidad (lbf)	2106.6	2049.9	2112.8	2127.8	2116.2	2146.8	2089.9	2121.5	2098.5	2174.2	2189.1	2242.5	1903.4	2014.2	1950.6
Estabilidad (kgf)	955.54	929.82	958.35	965.15	959.89	973.77	947.96	962.3	951.86	986.2	992.96	1017.18	863.37	913.63	884.78
Estabilidad corregida (kgf)	955.54	967.01	996.68	965.15	998.29	973.77	985.88	962.3	989.93	917.17	992.96	976.49	863.37	849.68	849.39
Estabilidad media corregida (kgf)	973.08			979.07			979.37			962.21			854.15		
Estabilidad (KN)	9.37	9.12	9.4	9.46	9.41	9.55	9.3	9.44	9.33	9.67	9.74	9.98	8.47	8.96	8.68
Estabilidad corregida (KN)	9.37	9.48	9.78	9.46	9.79	9.55	9.67	9.44	9.7	8.99	9.74	9.58	8.47	8.33	8.33
Estabilidad media corregida (KN)	9.54			9.60			9.60			9.44			8.38		
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	3604			3765.65			3917.48			4009.21			3558.96		
Gse - Gravedad específica efectiva del agregado	2.691	2.692	2.688	2.692	2.691	2.686	2.69	2.692	2.695	2.695	2.69	2.696	2.692	2.689	2.692
Gse - Promedio	2.690			2.69			2.692			2.694			2.691		
Pba - Porcentaje de absorción del asfalto	1.23%	1.25%	1.19%	1.23%	1.22%	1.15%	1.19%	1.22%	1.26%	1.21%	1.14%	1.23%	1.10%	1.06%	1.10%
Media Pba	1.22%			1.20%			1.22%			1.19%			1.09%		
Pbe - Porcentaje de asfalto efectivo	5.05%	5.03%	5.08%	4.99%	5.00%	5.06%	4.97%	4.94%	4.90%	4.84%	4.90%	4.82%	4.73%	4.77%	4.73%
Promedio Pbe	5.05%			5.02%			4.94%			4.85%			4.74%		
Va - Porcentaje de vacíos de aire	3.33%	3.23%	3.22%	2.51%	2.79%	2.32%	2.08%	2.20%	2.38%	1.68%	2.12%	2.09%	3.14%	3.17%	3.33%
Promedio Va	3.26%			2.54%			2.22%			1.96%			3.21%		
VMA - Vacíos en el agregado mineral	15.05%	14.93%	15.02%	14.19%	14.48%	14.19%	13.78%	13.83%	13.91%	13.14%	13.68%	13.48%	14.21%	14.33%	14.40%
Media VMA	15.00%			14.29%			13.84%			13.43%			14.31%		
VFA - Vacíos llenos de asfalto	77.87%	78.36%	78.56%	82.31%	80.74%	83.65%	84.91%	84.09%	82.89%	87.21%	84.51%	84.50%	77.90%	77.87%	76.87%
Media VFA	78.27%			82.23%			83.96%			85.41%			77.55%		
Relación polvo-asfalto	0.79			0.96			1.15			1.5			2.18		

Nota. Elaboración propia.

* El contenido de asfalto de todas las muestras es 6.20%. La variación corresponde al porcentaje que representa con la adición de cemento como filler con respecto al peso total de la mezcla asfáltica.

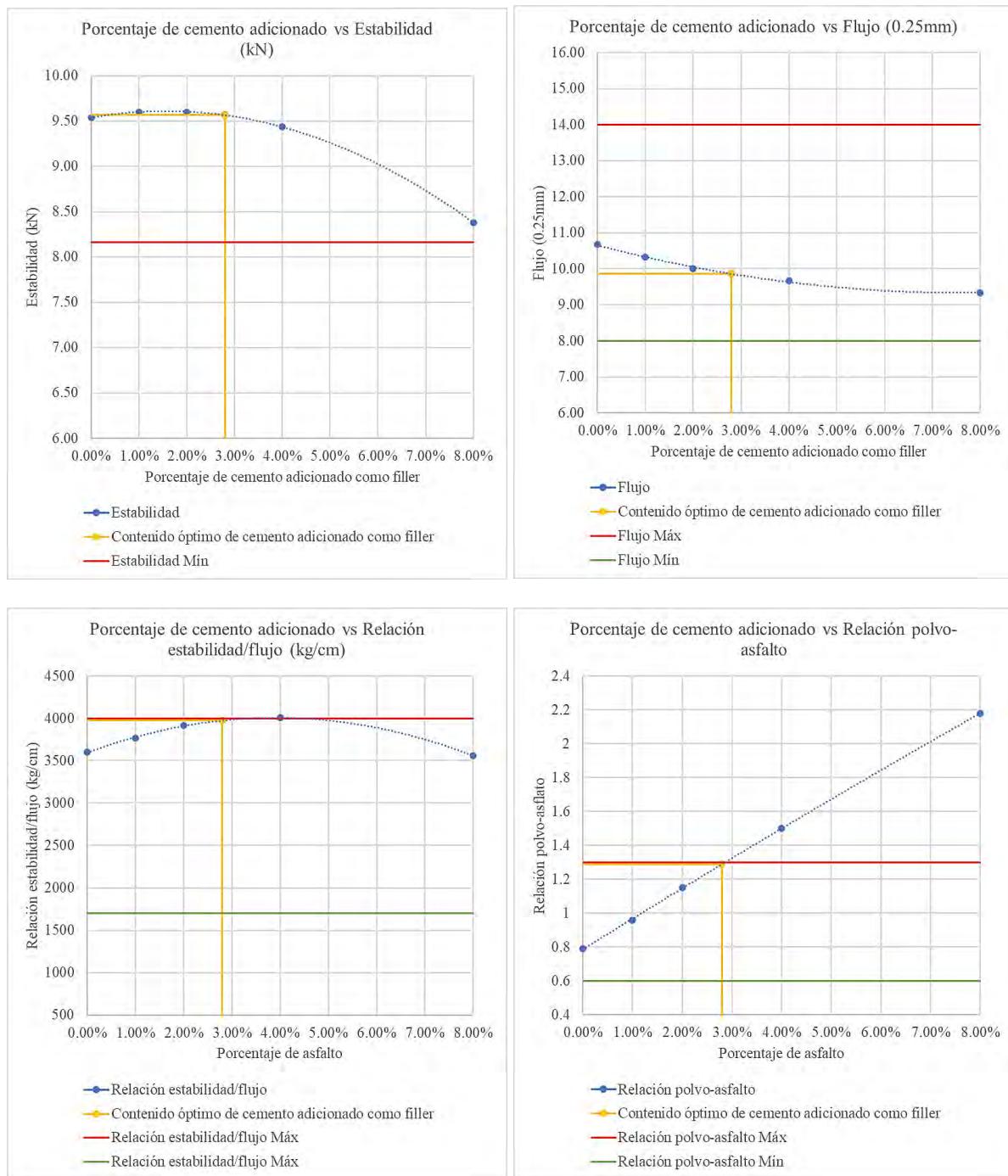
1.24.6. Gráficas porcentaje de asfalto vs parámetros de la mezcla asfáltica

Figura 24: Gráficas Porcentaje de cemento adicionado como filler vs Gmb, %Va, VMA y VFA. Parte I.



Nota. Elaboración propia.

Figura 25: Gráficas Porcentaje de cemento adicionado como filler vs Estabilidad, Flujo, Relación estabilidad/flujo y Relación polvo-asfalto. Parte II.



Nota. Elaboración propia.

1.24.7. Determinación del contenido óptimo de cemento adicionado como filler

De los gráficos anteriores el porcentaje del contenido óptimo de cemento adicionado como filler es 2.80%. Obteniéndose los siguientes resultados:

1.24.7.1. Del diseño de mezclas asfálticas caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón en laboratorio

Resultados obtenidos por la metodología Marshall de MAC patrón en laboratorio:

Tabla 43: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos			MAC patrón	Observaciones
	Mínimo	Máximo	Laboratorio		
Estabilidad Mínima, kN	8.16		9.54	CUMPLE	
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	10.67	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.26%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	13.33%		15.00%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	78.27%	NO CUMPLE	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 44: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos			MAC patrón	Observaciones
	Mínimo	Máximo	Laboratorio		
Estabilidad Mínima, kN	8.15		9.54	CUMPLE	
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	10.67	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.26%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		15.00%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	78.27%	NO CUMPLE	
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	0.79	CUMPLE	
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	3604.00	CUMPLE	

Nota. Elaboración propia.

1.24.7.2. Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4% y 8% cemento como filler

Resultados obtenidos por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler en laboratorio:

Tabla 45: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		1% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.16		9.60	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	10.33	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	2.54%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	12.03%		14.29%	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	82.23%	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Tabla 46: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		1% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.15		9.60	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	10.33	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	2.54%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		14.29%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	82.23%	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	0.96	CUMPLE
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	3765.65	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Resultados obtenidos por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler en laboratorio:

Tabla 47: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		2% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.16		9.60	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	10.00	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	2.22%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	12.03%		13.84%	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	83.96%	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Tabla 48: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		2% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.15		9.60	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	10.00	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	2.22%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		13.84%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	83.96%	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	1.15	CUMPLE
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	3917.48	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Resultados obtenidos por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler en laboratorio:

Tabla 49: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		4% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.16		9.44	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	9.67	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	1.96%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	12.03%		13.43%	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	85.41%	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Tabla 50: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		4% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.15		9.44	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	9.67	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	1.96%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		13.43%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	85.41%	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	1.5	NO CUMPLE
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	4009.21	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Resultados obtenidos por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler en laboratorio:

Tabla 51: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		8% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.16		8.38	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	9.33	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.21%	CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	12.03%		14.31%	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	77.55%	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Tabla 52: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	MAC patrón +			Observaciones
	Requisitos		8% cemento como filler	
	Mínimo	Máximo	Laboratorio	
Estabilidad Mínima, kN	8.15		8.38	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	9.33	CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.21%	CUMPLE
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		14.31%	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	77.55%	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	2.18	NO CUMPLE
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	3558.96	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Tabla 53: Resumen de resultados por la metodología Marshall de MAC patrón y MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4%, y 8% cemento como filler.

Norma Vigente	CE 0.10 Pavimentos urbanos		Mezcla asfáltica patrón		Mezcla asfáltica patrón adicionando cemento como filler al:			
	Mínimo	Máximo	Teórico	Práctico	1%	2%	4%	8%
Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas								
Estabilidad Mínima, kN	8.16		9.46	9.54	9.60	9.60	9.44	8.38
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	13.82	10.67	10.33	10.00	9.67	9.33
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.18%	3.26%	2.54%	2.22%	1.96%	3.21%
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	12.03%		14.91%	15.00%	14.29%	13.84%	13.43%	14.31%
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	78.48%	78.27%	82.23%	83.96%	85.41%	77.55%
Especificaciones Técnicas de Generales para Construcción EG-2013								
Norma Vigente	Mezcla asfáltica patrón		Mezcla asfáltica patrón adicionando cemento como filler al:					
	Mínimo	Máximo	Teórico	Práctico	1%	2%	4%	8%
Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas								
Estabilidad Mínima, kN	8.15		9.46	9.54	9.60	9.60	9.44	8.38
Flujo, 0.25 mm	8.00	14.00	13.82	10.67	10.33	10.00	9.67	9.33
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%	3.18%	3.26%	2.54%	2.22%	1.96%	3.21%
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%		14.91%	15.00%	14.29%	13.84%	13.43%	14.31%
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%	78.48%	78.27%	82.23%	83.96%	85.41%	77.55%
Relación polvo - asfalto	0.60	1.30	0.79	0.79	0.96	1.15	1.50	2.18
Relación estabilidad flujo (kg/cm)	1700.00	4000.00	2885.46	3604.00	3765.65	3917.48	4009.21	3558.96

Nota. Elaboración propia.

1.24.7.3. Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall obtención de contenido óptimo de cemento adicionado como filler (2.80% cemento adicionado como filler)

Del diseño de mezclas asfálticas en caliente adicionando cemento como filler se obtiene un contenido óptimo de cemento teórico de 2.80%.

Tabla 54: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	MAC patrón +			Observaciones	
		2.80% cemento como filler		Teórico		
		Mínimo	Máximo			
Estabilidad Mínima, kN			8.16	9.57	CUMPLE	
Flujo, 0.25 mm		8.00	14.00	9.86	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%		2.03%	NO CUMPLE	
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	12.03%			13.60%	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%		85.09%	NO CUMPLE	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 55: Resultados por la metodología Marshall de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	MAC patrón + 2.80% cemento como filler			Observaciones	
		cemento como filler		Teórico		
		Mínimo	Máximo			
Estabilidad Mínima, kN			8.15	9.57	CUMPLE	
Flujo, 0.25 mm		8.00	14.00	9.86	CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de aire	3.00%	5.00%		2.03%	NO CUMPLE	
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA	15.00%			13.60%	NO CUMPLE	
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA	65.00%	75.00%		85.09%	NO CUMPLE	
Relación polvo - asfalto		0.60	1.30	1.29	CUMPLE	
Relación estabilidad/flujo (kg/cm)		1700.00	4000.00	3975.14	CUMPLE	

Nota. Elaboración propia.

1.25. Resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler

Para la determinación de la tensión indirecta de la MAC patrón se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 56: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (kPa)			357.49	
No acondicionado (kPa)			434.75	
Relación de resistencia a la tensión indirecta	80.00%		82.23%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la tensión indirecta de la MAC patrón adicionando 1% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 57: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 1% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (kPa)			353.56	
No acondicionado (kPa)			409.79	
Relación de resistencia a la tensión indirecta	80.00%		86.28%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la tensión indirecta de la MAC patrón adicionando 2% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 58: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 2% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (kPa)			347.99	
No acondicionado (kPa)			397.91	
Relación de resistencia a la tensión indirecta	80.00%		87.45%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la tensión indirecta de la MAC patrón adicionando 4% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 59: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 4% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (kPa)			321.05	
No acondicionado (kPa)			368.31	
Relación de resistencia a la tensión indirecta	80.00%		87.17%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la tensión indirecta de la MAC patrón adicionando 8% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 60: Resultados de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 8% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (kPa)			259.92	
No acondicionado (kPa)			335.45	
Relación de resistencia a la tensión indirecta	80.00%		77.48%	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

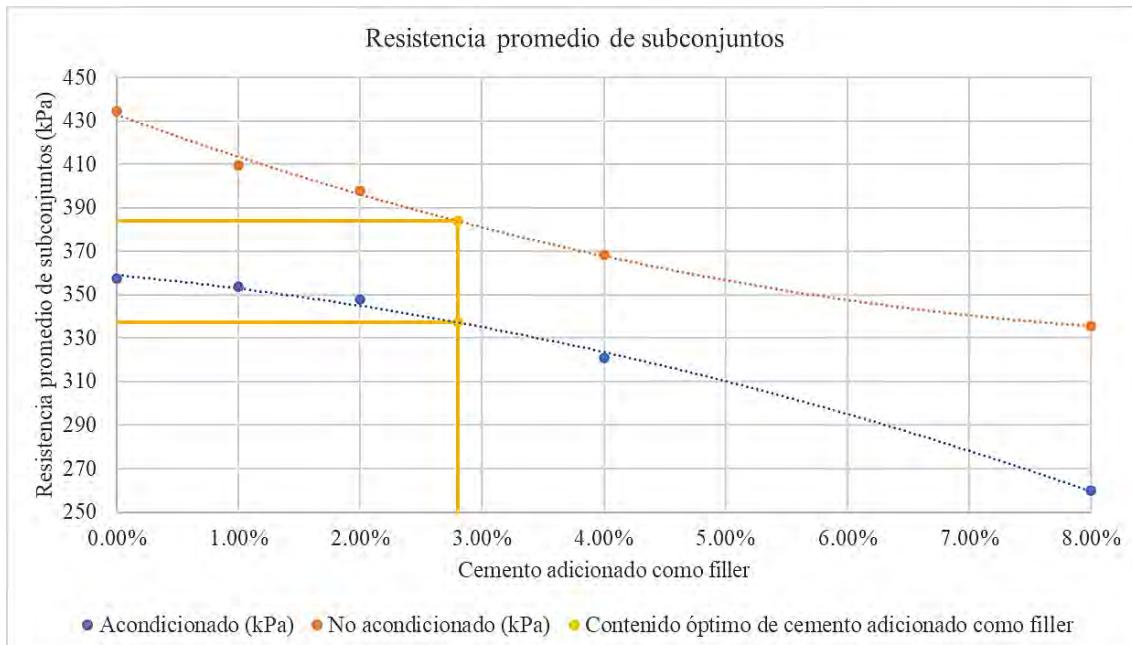
Asimismo, se presenta el resumen de resultados en la siguiente tabla:

Tabla 61: Resumen de resultados de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad por medio de la relación en la resistencia a la tensión indirecta.

Resistencia promedio de subconjuntos con cemento adicionado al:	0%	1%	2%	4%	8%
Acondicionado (kPa)	357.49	353.56	347.99	321.05	259.92
No acondicionado (kPa)	434.75	409.79	397.91	368.31	335.45
Relación de resistencia a la tensión indirecta	82.23%	86.28%	87.45%	87.17%	77.48%

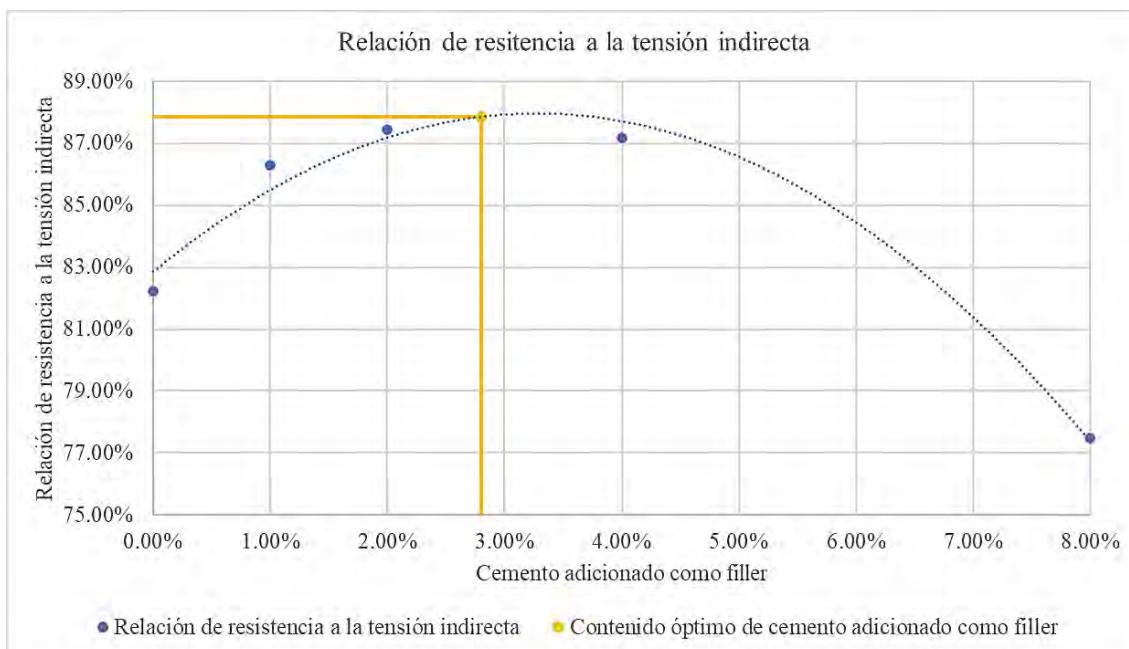
Nota. Elaboración propia.

Figura 26: Resistencia promedio de subconjuntos vs cemento adicionado como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 27: Relación de resistencia a la tensión indirecta vs cemento adicionado como filler.



Nota. Elaboración propia.

De las dos figuras anteriores se determina la relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionado 2.80% cemento como filler, resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 62: Resultados teórico de la relación en la resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 2.80% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (kPa)			337.27	
No acondicionado (kPa)			383.94	
Relación de resistencia a la tensión indirecta	80.00%		87.85%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

1.26. Resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler

Para la determinación de la resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de la MAC patrón se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 63 Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (MPa)			2.95	
No acondicionado (MPa)	2.10		3.71	CUMPLE
Índice de resistencia retenida	75		79.51%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de la MAC patrón adicionando 1% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 64: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 1% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 1% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (MPa)			3.01	
No acondicionado (MPa)	2.10		3.51	CUMPLE
Índice de resistencia retenida	75%		85.74%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de la MAC patrón adicionando 1% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 65: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 2% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	MAC patrón + 2% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo	
Acondicionado (MPa)		3.02	
No acondicionado (MPa)	2.10	3.49	CUMPLE
Índice de resistencia retenida	75%	86.52%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de la MAC patrón adicionando 4% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 66: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 4% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	MAC patrón + 4% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo	
Acondicionado (MPa)		2.94	
No acondicionado (MPa)	2.10	3.34	CUMPLE
Índice de resistencia retenida	75%	88.04%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

Para la determinación de la resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de la MAC patrón adicionando 8% de cemento como filler se realizó dos grupos de muestra acondicionado y no acondicionado, presentando los siguientes resultados:

Tabla 67: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 8% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos	MAC patrón + 8% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo	
Acondicionado (MPa)		2.13	
No acondicionado (MPa)	2.10	2.95	CUMPLE
Índice de resistencia retenida	75%	72.01%	NO CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

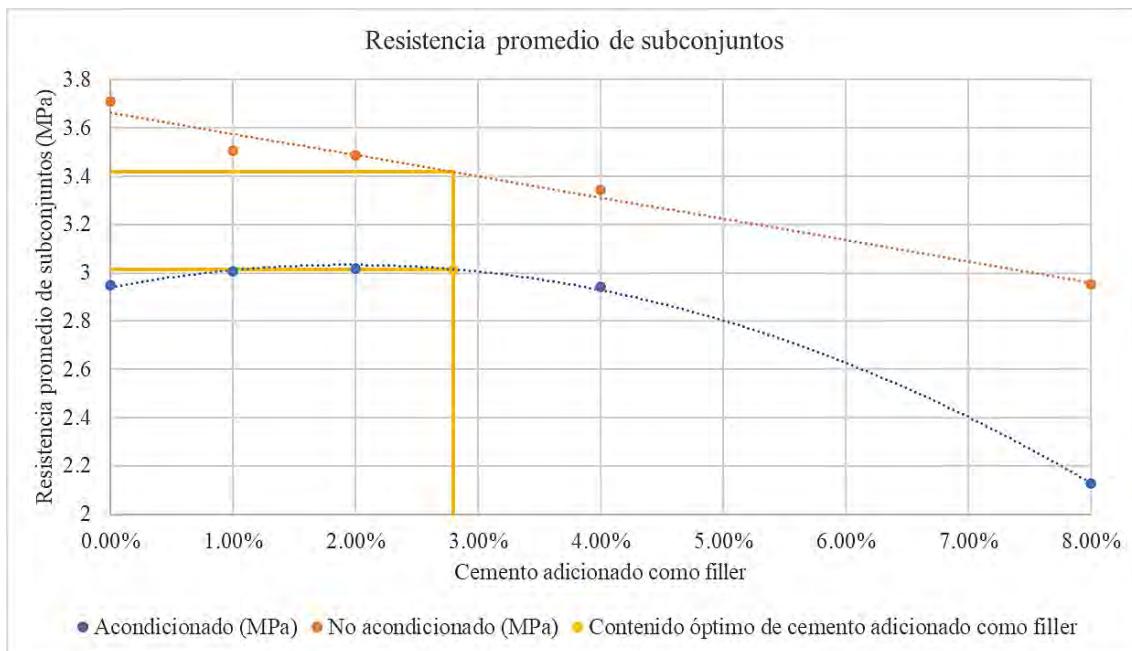
Asimismo, se presenta el resumen de resultados en la siguiente tabla:

Tabla 68: Resumen de resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas.

Resistencia promedio de subconjuntos con cemento adicionado al:	0%	1%	2%	4%	8%
Acondicionado (MPa)	2.95	3.01	3.02	2.94	2.13
No acondicionado (MPa)	3.71	3.51	3.49	3.34	2.95
Índice de resistencia retenida	79.51%	85.74%	86.52%	88.04%	72.01%

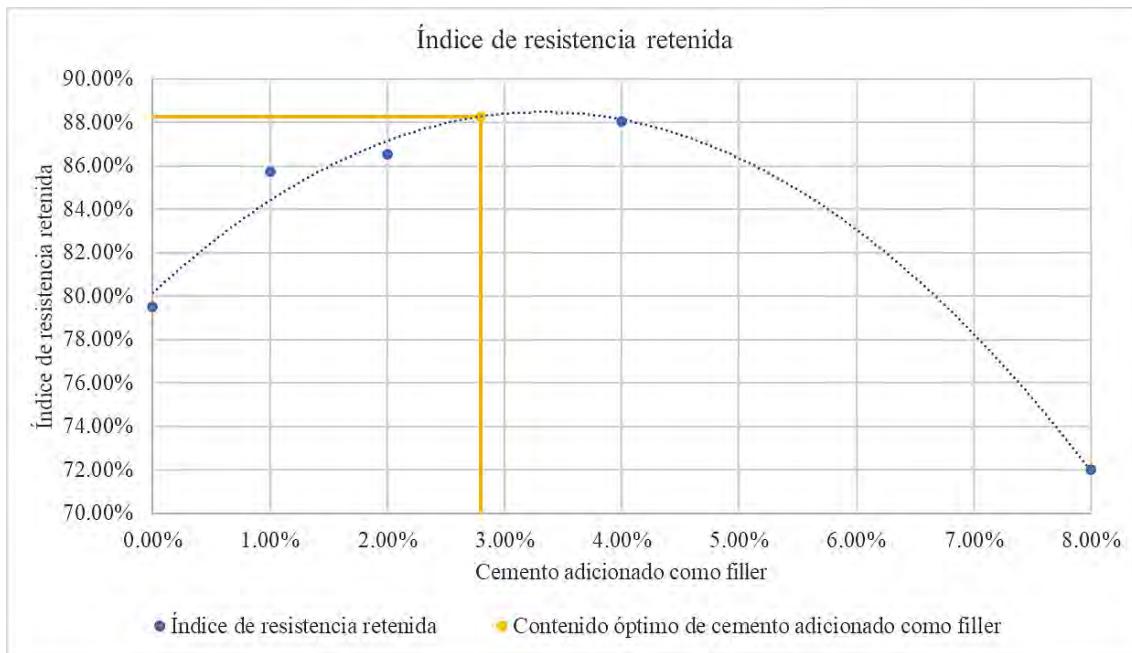
Nota. Elaboración propia.

Figura 28: Resistencia promedio de subconjuntos vs cemento adicionado como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 29: Índice de resistencia retenida vs cemento adicionado como filler.



Nota. Elaboración propia.

De las dos figuras anteriores se determina la relación de resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC adicionado 2.80% cemento como filler, resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 69: Resultados del efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas de MAC patrón adicionando 2.80% cemento como filler y comparación con los requisitos de la norma vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Parámetros en el Método Marshall de Diseño de Mezclas	Requisitos		MAC patrón + 2.80% cemento adicionado como filler	Observaciones
	Mínimo	Máximo		
Acondicionado (MPa)			3.02	
No acondicionado (MPa)	2.10		3.42	CUMPLE
Índice de resistencia retenida	75%		88.22%	CUMPLE

Nota. Elaboración propia.

1.26.1. Módulo de rigidez de la MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler mediante nomogramas de Van der Poel y Shell y mediante las ecuaciones de Bonnaure et al.

De los nomogramas de Shell y ecuaciones de Bonnaure et al. se tiene los siguientes resultados:

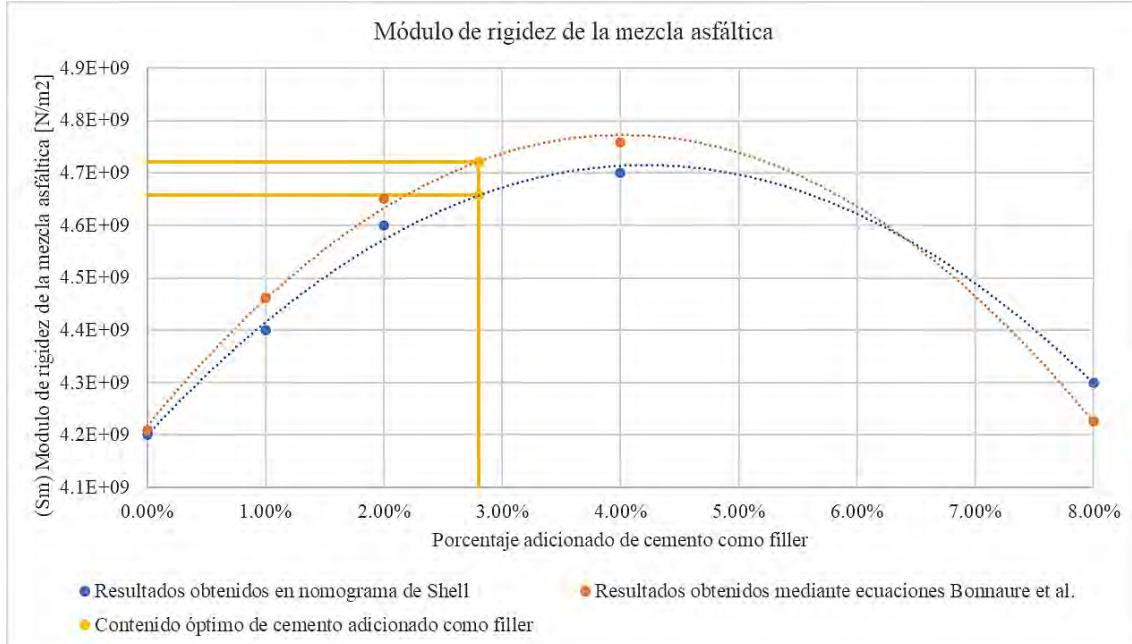
Tabla 70: Resumen de resultados del módulo de rigidez MAC patrón y MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4%, y 8% cemento como filler.

(S _m) Modulo de rigidez de la mezcla asfáltica [N/m ²]	Porcentaje adicionado de cemento como filler				
	0%	1%	2%	4%	8%
Resultados obtenidos en nomograma de Shell	4.20E+09	4.40E+09	4.60E+09	4.70E+09	4.30E+09
Resultados obtenidos mediante ecuaciones Bonnaure et al.	4.21E+09	4.46E+09	4.65E+09	4.76E+09	4.23E+09

Nota. Elaboración propia.

De la tabla anterior se elabora la siguiente figura para determinar el módulo de rigidez de MAC adicionado 2.80% cemento como filler,

Figura 30: Módulo de rigidez de la mezcla asfáltica vs Porcentaje adicionado de cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

De la figura anterior se determina el módulo de rigidez de MAC adicionado 2.80% cemento como filler, resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 71: Resultados teóricos de Modulo de rigidez de MAC adicionado 2.80% cemento como filler.

(S_m) Modulo de rigidez de la mezcla asfáltica [N/m²]	Porcentaje óptimo de cemento adicionado
	como filler
	2.80%
Resultados obtenidos en nomograma de Shell	4.72E+09
Resultados obtenidos mediante ecuaciones Bonnaure et al.	4.66E+09

Nota. Elaboración propia.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1.27. De la caracterización de los agregados

1.27.2. Agregado grueso piedra chancada

Análisis y discusión de resultados

- Los resultados obtenidos de la caracterización del agregado grueso piedra chancada de la cantera Morro Blanco cumplen con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 tal como detalla la siguiente tabla que se muestra a continuación.
- Asimismo, el agregado grueso presenta un buen comportamiento mecánico, físico y químico según los resultados obtenidos.

1.27.3. Agregado fino arena triturada

Análisis y discusión de resultados

- Los resultados obtenidos de la caracterización del agregado fino arena triturada de la cantera Morro Blanco cumplen con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 tal como detalla la siguiente tabla que se muestra a continuación.
- Asimismo, el agregado fino arena triturada presenta un buen comportamiento mecánico, físico y químico según los resultados obtenidos.

1.27.4. Agregado fino arena natural

Análisis y discusión de resultados

- Los resultados obtenidos de la caracterización del agregado fino arena natural de la cantera Cunyac cumplen con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 tal como detalla la siguiente tabla que se muestra a continuación.
- Asimismo, el agregado fino arena natural presenta un buen comportamiento mecánico, físico y químico según los resultados obtenidos.

1.28. De la caracterización del asfalto

Análisis y discusión de resultados

- Los resultados obtenidos de la caracterización del asfalto PEN 85/100 cumplen con los requerimientos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (con respecto a los ensayos de penetración y ductilidad de los materiales bituminosos).

1.29. De la caracterización del filler cemento Yura IP

Análisis y discusión de resultados

- Los resultados obtenidos de la caracterización del filler cemento Yura IP cumplen con los requerimientos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (con respecto al porcentaje que pasa tamiz N°200).

1.30. Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón teórico

Análisis y discusión de resultados

- El diseño por la metodología Marshall se realiza para un tráfico pesado, para un compactado con 75 golpes por cada cara de las probetas de MAC.
- El diseño por la metodología Marshall se realizó con una combinación de agregados con la siguiente proporción 35% piedra chancada, 50% arena triturada y 15% arena natural.
- El requisito del Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos se itera para un valor de $V_a = 3.33\%$ obteniéndose VMA mínimo de 13.33%.
- De los gráficos de diseño de mezclas asfálticas en caliente - MAC patrón por la metodología Marshall se obtiene un contenido óptimo de asfalto de 6.20%.
- Con el contenido óptimo de asfalto 6.20% se prepara muestras de MAC patrón en laboratorio teniendo los siguientes resultados.
- La estabilidad obtenida es 9.46 kN resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- El flujo obtenido es 11.26 (0.25 mm) resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- El porcentaje de vacíos llenos de aire obtenido es 3.33% resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Cabe mencionar que el porcentaje de vacíos llenos de aire recomendado por las normas vigentes las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, para los climas fríos por encima de los 3000 m.s.n.m. es 2%, resultado que no cumple con la recomendación dada.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral obtenido es 15.02% resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto obtenido es 77.77% resultado que no cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- La relación polvo-asfalto obtenido es 0.80 resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.
- La relación estabilidad/flujo obtenido es 3437.88 resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.

1.31. Del diseño de mezclas asfálticas en caliente por la metodología Marshall de la MAC patrón en laboratorio y la MAC patrón adicionando cemento como filler

Análisis y discusión de resultados

- El diseño por la metodología Marshall se realiza para un tráfico pesado, para un compactado con 75 golpes por cada cara de las probetas de MAC patrón y MAC patrón adicionado cemento como filler.
- El diseño Marshall se realizó manteniéndose la combinación de agregados con la siguiente proporción 35% piedra chancada, 50% arena triturada y 15% arena natural de la mezcla asfáltica en caliente patrón.
- El requisito del Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos se itera para un valor de $V_a = 2.03\%$ obteniéndose VMA mínimo de 12.03%.
- Se mantiene el contenido óptimo de asfalto 6.20% de la mezcla asfáltica en caliente patrón.
- Los resultados de mezcla asfáltica patrón teórico y mezcla asfáltica patrón laboratorio con 6.20% de asfalto son similares, con lo que se da mayor validez a los ensayos realizados, obteniéndose los siguientes resultados de la mezcla asfáltica patrón laboratorio:
- La estabilidad obtenida es 9.54 kN resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- El flujo obtenido es 10.67 (0.25 mm) resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- El porcentaje de vacíos llenos de aire obtenido es 3.26% resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Cabe mencionar que el porcentaje de vacíos llenos de aire recomendado por las normas vigentes las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, para

los climas fríos por encima de los 3000 m.s.n.m. es 2%, resultado que no cumple con la recomendación dada.

- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral obtenido es 15.00% resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos y no cumple con la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto obtenido es 78.27% resultado que no cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- La relación polvo-asfalto obtenido es 0.79 resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.
- La relación estabilidad/flujo obtenido es 3604.00 resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos.
- De los gráficos de diseño de mezclas asfálticas en caliente - MAC patrón adicionado cemento como filler por la metodología Marshall se obtiene un contenido óptimo de cemento adicionado como filler de 2.80%. Obteniéndose los siguientes resultados de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica en caliente.
- La estabilidad obtenida es 9.57 kN resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013; incrementado en 0.03 kN con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando un incremento de 0.31% con respecto a la MAC patrón laboratorio siendo no significativo, esto se debe a que cemento adicionado como filler rellena los espacios vacíos logrando una mejor resistencia.
- El flujo obtenido es 9.86 (0.25 mm) resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, disminuyendo en 0.81 (0.25 mm) con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando una disminución de 7.59% con respecto a la MAC patrón laboratorio, esto se debe a que cemento adicionado como filler rellena los espacios vacíos disminuyendo su deformabilidad.
- El porcentaje de vacíos llenos de aire obtenido es 2.03% resultado que cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Puesto que recomiendan que, para los climas fríos por encima de los 3000 m.s.n.m., el valor porcentaje de vacíos llenos de aire debe ser 2%, disminuyendo en 1.23% con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando una disminución de 37.73% con respecto a la MAC patrón laboratorio, esto se debe a que cemento adicionado como filler rellena los espacios vacíos entre los agregados disminuyendo el aire atrapado en la mezcla asfáltica.

- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral obtenido es 13.60% resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos, resultado que no cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, disminuyendo en 1.40% con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando una disminución de 9.33% con respecto a la MAC patrón laboratorio, esto se debe a que cemento adicionado como filler rellena los espacios vacíos entre los agregados reduciendo el volumen de vacíos en el agregado mineral.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto obtenido es 85.09% resultado que no cumple con los requerimientos de las normas técnicas vigentes CE.010 Pavimentos Urbanos y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, incrementado en 6.82% con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando un incremento de 8.71% con respecto a la MAC patrón laboratorio, esto se debe a que cemento adicionado como filler rellena los espacios vacíos entre los agregados desplazando el asfalto en la mezcla asfáltica.
- La relación polvo-asfalto obtenido es 1.29 resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos, incrementado en 0.50 con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando un incremento de 63.29% con respecto a la MAC patrón laboratorio, esto se debe a que cemento adicionado como filler incrementa el filler total con respecto al asfalto.
- La relación estabilidad/flujo obtenido es 3975.14 resultado que cumple con el requerimiento de la norma técnica vigente CE.010 Pavimentos Urbanos, incrementado en 371.14 con respecto a la MAC patrón laboratorio, representando un incremento de 10.30% con respecto a la MAC patrón laboratorio, esto se debe a que cemento adicionado como filler se incrementa la estabilidad y disminuye el flujo.

1.32. Resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler

Análisis y discusión de resultados

- Las MAC se moldean a un porcentaje de vacíos $7.0\% \pm 0.5\%$, según normas técnicas vigentes.
- La mezcla asfáltica en caliente patrón presenta una relación de resistencia a la tensión indirecta de 82.23% resultado que cumple con los requerimientos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- La mezcla asfáltica en caliente patrón adicionando 2.80% cemento como filler presenta una relación de resistencia a la tensión indirecta de 87.85% resultado que cumple con los requerimientos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

- Observándose que con la adición de 2.80% cemento como filler a la MAC patrón mejora las propiedades de adherencia entre agregado, filler (natural y cemento adicionado) y asfalto incrementado en 5.62% la resistencia a la tensión indirecta, representando un incremento de 6.83% con respecto a la MAC patrón.

1.33. Resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler

Análisis y discusión de resultados

- Las MAC se moldean a un porcentaje de vacíos de $6\% \pm 0.5\%$, según normas técnicas vigentes.
- La mezcla asfáltica en caliente patrón presenta una resistencia a la compresión de 3.71MPa y índice de resistencia retenida de 79.51% resultados que cumplen con los requerimientos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- La mezcla asfáltica en caliente patrón adicionando 2.80% cemento como filler presenta una resistencia a la compresión de 3.42MPa y índice de resistencia retenida de 88.22% resultados que cumplen con los requerimientos de la norma técnica vigente Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- Observándose que con la adición de 2.80% cemento como filler a la MAC patrón disminuyendo en 0.29 MPa la resistencia a la compresión, representando una disminución de 7.82% con respecto a la MAC patrón, e incrementado en 8.71% el índice de resistencia retenida, representando un incremento de 10.95% con respecto a la MAC patrón.

1.34. Del módulo de rigidez MAC patrón y MAC patrón adicionando 1%, 2%, 4%, y 8% cemento como filler

Análisis y discusión de resultados

- La mezcla asfáltica en caliente patrón presenta un módulo de rigidez de mezcla asfáltica de $4.20 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ obtenido por el Nomograma de Shell y $4.21 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ obtenido por las Ecuaciones Bonnaure et al., teniendo una variación de $0.01 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ entre ambos métodos.
- La mezcla asfáltica en caliente patrón adicionando 2.80% cemento como filler presenta un módulo de rigidez de mezcla asfáltica de $4.72 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ obtenido por el Nomograma de Shell y $4.66 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ obtenido por las Ecuaciones Bonnaure et al., teniendo una variación de $0.06 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ entre ambos métodos.
- Observándose que con la adición de 2.80% cemento como filler a la MAC patrón mejora las propiedades de adherencia entre agregado, filler (natural y cemento adicionado) y asfalto incrementado en $0.52 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, representando un incremento de 12.38% con respecto a la MAC patrón, obtenido por el Nomograma de Shell y $0.45 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, representando un incremento de 10.69% con respecto a la MAC patrón, obtenido por las Ecuaciones Bonnaure et al., teniendo una variación de $0.07 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ entre ambos métodos.

El presente trabajo de investigación se centró en evaluar las propiedades físico mecánico de la mezcla asfáltica en caliente mediante ensayos Marshall (Estabilidad y flujo), parámetros volumétricos (Vacíos llenos de aire, vacíos de agregados mineral y vacíos llenos de asfalto), resistencia a la tensión indirecta (TSR), resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida y así como la estimación teórica del módulo de rigidez. Asimismo, se tiene limitaciones para una caracterización exhaustiva del desempeño de las mezclas asfálticas; sería valioso complementar la investigación con ensayos de susceptibilidad a la deformación permanente (Ensayo de la Rueda de Hamburgo (AASHTO T324), el ensayo del Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), y el ensayo de Creep Repetitivo (CIRP)), módulos dinámicos (AASHTO T342 o Norma Europea EN 1697-26) y resistencia a la fatiga (UNE-EN 12697-24). Estos ensayos se proponen como una investigación futura, dado que requieren equipamiento especializado no disponible en la zona de investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.35. Conclusiones

- La adición de cemento comercial como filler en un contenido óptimo de 2.80% de cemento influye en las propiedades fisico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica patrón en caliente, puesto que el filler (cemento adicionado) siendo un material de relleno favorece su compactación, incrementa su densidad y disminuyendo sus vacíos de las mezclas asfálticas en caliente.
- La adición de cemento comercial como filler en un contenido óptimo de 2.80% de cemento varía incrementando la relación estabilidad/flujo, debido a que la estabilidad aumenta en 0.03kN y el flujo disminuye en 0.81 (0.25 mm) con respecto a la MAC patrón, haciendo que la relación estabilidad/flujo incremente en 371.14 con respecto a la MAC patrón, representando un incremento de 10.30% con respecto a la MAC patrón; debido a que el filler (cemento adicionado) rellena los espacios mejorando la resistencia y disminuyendo su deformabilidad de la mezcla asfáltica patrón.
- La adición de cemento comercial como filler en un contenido óptimo de 2.80% de cemento incide en los parámetros volumétricos de la siguiente manera, en cuanto al porcentaje de vacíos llenos de aire incide disminuyendo en 1.23%, representando una disminución de 37.73% con respecto a la MAC patrón; en cuanto al porcentaje de vacíos en el agregado mineral incide disminuyendo 1.40%, representando una disminución de 9.33% con respecto a la MAC patrón; y en cuanto al porcentaje de vacíos llenos de asfalto incide incrementado en 6.82%, representando un incremento de 8.71% con respecto a la MAC patrón; esto se debe a que el filler (cemento adicionado) rellena los espacios vacíos de los agregados y reduce el volumen de los vacíos desplazando el asfalto en la mezcla asfáltica patrón.
- La adición de cemento comercial como filler en un contenido óptimo de 2.80% de cemento en cuanto a la resistencia a la tensión indirecta incrementa en 5.62%, representando un incremento de 6.83% con respecto a la MAC patrón; en cuanto a la resistencia a la compresión disminuye en 0.29MPa, representando una disminución de 7.82% con respecto a la MAC patrón; y en cuanto al índice de resistencia retenida incrementa en 8.71%, representando un incremento de 10.95% con respecto a la MAC patrón.
- La adición de cemento comercial como filler en un contenido óptimo de 2.80% de cemento incrementa al módulo de rigidez en 0.52×10^9 N/m², representando un incremento de 12.38% con respecto a la MAC patrón, obtenido por el nomograma de Shell y en 0.45×10^9 N/m², representando un incremento de 10.69% con respecto a la MAC patrón, obtenido por las ecuaciones Bonnaure et al., teniendo una variación de incremento 0.07×10^9 N/m² entre ambos métodos.

1.36. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de filler cemento en 2.80% puesto que influye significativamente en las propiedades fisco mecánicas, incrementando y mejorando la relación estabilidad flujo, el porcentaje de vacíos llenos de aire, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, la resistencia a la tensión indirecta, el índice de resistencia retenida y el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica en caliente.
- Los agregados deben estar limpios de materia orgánica, secos y deben calentarse a la temperatura de mezcla especificada.
- El asfalto debe calentarse a la temperatura especificada garantizando una buena adherencia con los agregados y filler adicionado (cemento).
- El filler adicionado (cemento) se debe calentar conjuntamente a los agregados a la temperatura de mezcla especificada.
- Se debe controlar la temperatura durante todo el proceso de mezclado para garantizar la calidad y homogeneidad de los especímenes.
- La compactación debe realizarse de manera uniforme y controlada evitándose deformaciones y grietas en los especímenes.
- Para realizar las pruebas de estabilidad, flujo, resistencia a la tensión indirecta, resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida, se debe tener un control de temperatura durante el ensayo para obtener resultados confiables y válidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, S., Hernández, E., & Sibrián, Y. (2016). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente con cal hidratada para el mejoramiento de la resistencia a la humedad.*
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/10323/1/Insumos%20t%C3%A9cnicos%20para%20la%20modelaci%C3%B3n%20probabil%C3%ADstica%20de%20riesgo%20de%20inundaciones%20en%20la%20cuenca%20del%20R%C3%ADo%20Sucio%20utilizando%20el%20modelo%20CAPRA.pdf>
- Amaya, W., & Soto, J. (2015). *Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cemento portland.*
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/2702/TESIS.pdf?sequence=1>
- American Psychological Association. (2019). *Guía Normas APA* (American Psychological Association, Ed.; Séptima Edición).
- Anderson, D. A., Bahia, H. U., & Dongre, R. (1992). *Rheological properties of mineral filler asphalt mastics and their relationship to pavement performance.* American Society for Testing Materials.
- Asphalt Institute. (1996). *Superpave Mix Design* (Third Edition).
- Auccahuaqui Yanque, I. K., & Corahua Hilaquita, R. Y. (2016). *Evaluación del Sistema de Pavimentos Flexibles en la Prolongación de la Av. La Cultura Tramo (4to Paradero de San Sebastián – Grifo Móvil de San Jerónimo).* Universidad Andina del Cusco.
- Cáceres, C. (2007). *CAPITULO 4 Pruebas de desempeño para mezclas asfálticas.*
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo4.pdf
- Camayo, A. (2022). *HISTORIA DE LOS ALFALTOS EN PERU.*
<https://es.slideshare.net/AdolfoCamayo2/historia-de-los-alfaltos-en-peru-grupo-1pptx>
- EADIC. (2016). *Historia del uso de asfalto.* <https://eadic.com/blog/entrada/historia-del-uso-de-asfalto/>
- Elliot, R. P., Ford, M. C., Ghanim, M., & Tu, Y. F. (1991). *Effect of aggregate gradation variation on asphalt concrete mix properties.* Transportation Research Record.
- Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial - Informes y publicaciones - Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Gobierno del Perú. (2022).
<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). *Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas.*
- Garrote, E. (2006). *Efecto de la temperatura en la tenacidad de diferentes mezclas bituminosas.*

- Geber, R., & Gomze, L. A. (2010). Characterization of mineral materials as asphalt fillers. *Material Science Forum*, 659, 471-476.
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Second Edition).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Temperatura promedio anual*.
<https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/a1-condiciones-fisicas-12696/>
- Kalkattawi, H. R. (1993). *Effect of Filler on the Engineering Properties of Asphalt Mixes*. King Abdul Aziz University.
- Kandhal, P. S., Lynn, C. Y., & Parker, F. (1998). *Characterization tests for mineral fillers related to performance of asphalt paving mixtures*. NCAT Rep. No. 98-2.
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de Pavimentos Materiales, Diseño y Conservación*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras - "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013"*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). *Manual de Ensayo de Materiales*.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Segunda Edición).
- Quispe, J. (2018). *Influencia de la adición de cal hidratada o cemento a la estabilidad y fluencia dentro del diseño mezcla asfáltica en caliente, Pilcomayo - 2018*.
https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/9019/tesis_Adicci%C3%B3n-Cal%20hidratada_cemento_estabilidad.Fluencia_dise%C3%B1oMezcla_Asf%C3%A1lticaenCaliente_Pilcomayo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos Materiales, Construcción y Diseño* (Primera Edición).
- Salas, K., & Yllatupa, M. (2019). *Filler de Diatomita en el Diseño de la Mezcla Asfáltica en Caliente Mediante Método Marshall, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad de Cusco, 2016-2017*.
- Sanchez, H., & Reyes, C. (2021). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica* (Sexta Edición).
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. (2010). *Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Wu, S., Zhu, J., Zhong, J., & Wang, D. (2011). Experimental investigation on related properties of asphalt mastic containing recycled brick powder. *Construction Building Materials*, 25(6), 2883-2887.
- YURA. (2022). *Ficha Técnica de Cemento Multi-Propósito de Alta Durabilidad Yura IP*.
<https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-ip.pdf>
- Zulkati, A., Diew, W. Y., & Delai, D. S. (2012). Effects of Fillers on properties of Asphalt-Concrete Mixture. *Journal of Transportation Engineering*.

ANEXOS

A nexo N°01: Matriz de consistencia

Tabla 72: Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE			Tipo de investigación
¿Cuál es la influencia de la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco 2023?	Analizar la influencia de la adición de cemento comercial como filler en las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco 2023.	La adición de cemento comercial como filler influirá incrementando las propiedades físico-mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad del Cusco 2023.	Adición de cemento comercial como filler	Adición de cemento comercial como filler	Porcentaje de adición de cemento comercial como filler (%)	Aplicada <u>Nivel de la investigación</u> Experimental <u>Método de investigación</u> Experimental <u>Diseño de la investigación</u> Multivariado - Experimental - Tradicional
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	DEPENDIENTE			Población
¿Cómo influye la adición de cemento como filler en la relación estabilidad/flujo en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?	Cuantificar como como influye la relación estabilidad/flujo con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.	La adición de cemento como filler influirá incrementando la relación estabilidad/flujo, aumentando la estabilidad y manteniendo o disminuyendo el flujo en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.		Estabilidad	Esfuerzo (kN)	Constituida por las probetas de los diseños de mezclas asfálticas en caliente en la ciudad del Cusco.
¿De qué manera incide la adición de cemento como filler en los parámetros volumétricos en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?	Analizar la incidencia en los parámetros volumétricos con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.	La adición de cemento como filler incidirá disminuyendo los parámetros volumétricos en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.	Propiedades fisico-mecánicas del diseño de mezclas asfálticas en caliente.	Flujo	Deformación (mm)	
¿En qué medida incrementará con la adición de cemento como filler la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?	Determinar la variación de la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.	La adición de cemento como filler presentará un incremento en la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.		Vacíos llenos de aire (%)	Tamaño de Muestra	
¿En qué medida variará la adición de cemento como filler en el módulo de rigidez en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?	Determinar el módulo de rigidez con la adición de cemento como filler en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.	La adición de cemento como filler aumentará el módulo de rigidez en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.		Parámetros volumétricos	Vacíos en el agregado mineral (%)	Para el desarrollo de la investigación se considera un total de ciento treinta y dos (132) muestras de los cuales, noventa y seis (96) muestras en forma de probetas y treinta y seis (36) muestras de mezclas asfálticas.
					Vacíos llenados con asfalto (%)	
				Resistencia a la compresión e índice a la resistencia retenida	Resistencia a la tensión indirecta (%)	
					Resistencia a la compresión (MPa)	
					Índice de resistencia retenida (%)	Muestreo
				Módulo de rigidez	Módulo de Rigidez (N/m ²)	Muestreo No Probabilístico Intencionado

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°02: Ensayos de laboratorio caracterización agregado grueso piedra chancada

Figura 31: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso piedra chancada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro				Fecha:	19/06/2024																
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																					
DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO - MTC E 209																						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																						
Cantera:	Morro Blanco																					
Ubicación:	Calca San Salvador																					
Material:	Piedra chancada 1/2"																					
Muestra:	1277.15 gr																					
DATOS DE LA MUESTRA																						
Tamaño	Peso requerido	(A) Peso inicial [gr]	(B) Porcentaje peso inicial [%]	¿Cumple peso inicial?	(C) Peso final [gr]	(D) Peso de pérdida (A-C) [gr]	(E) Porcentaje peso de pérdida (D/A) [%]	(F) Gradación original retenido acumulado [%]	(G) Porcentaje de perdidas totales (E*F) [%]													
3" a 2 1/2"	7000 ± 1000	0.00	0.00%		0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%													
2 1/2" a 2"	3000 ± 300	0.00	0.00%		0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%													
2" a 1 1/2"	2000 ± 200	0.00	0.00%		0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%													
1 1/2" a 1"	1000 ± 50	0.00	0.00%		0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%													
1" a 3/4"	800 ± 30	0.00	0.00%		0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.00%													
3/4" a 1/2"	670 ± 10	675.10	52.86%	CUMPLE	650.85	24.25	3.59%	38.57%	1.39%													
1/2" a 3/8"	300 ± 5	299.47	23.45%	CUMPLE	285.50	13.97	4.66%	61.58%	2.87%													
3/8" a N°4	300 ± 5	302.58	23.69%	CUMPLE	279.50	23.08	7.63%	96.87%	7.39%													
		1277.15	100.00%		1215.85				11.65%													
RESULTADO																						
Durabilidad al sulfato de magnesio [%]						11.65%																

Nota. Elaboración propia.

Figura 32: Abrasión de los ángeles agregado grueso piedra chancada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	18/06/2024			
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC					
ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES - MTC E 207						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Piedra chancada 1/2"					
Muestra:	Gradación B					
DATOS DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES		DATOS DE LA CARGA ABRASIVA (Esferas)				
Longitud Interior [cm] =	50.80	Diámetro Promedio [mm] =	46.65			
Diámetro Interior [cm] =	71.10	Peso Promedio [gr] =	416.06			
Velocidad de Giro del Cilindro [rpm] =	33.00	Número de Esferas =	11.00			
Número total de vueltas =	500.00					
DATOS DE LA MUESTRA						
GRANULOMETRÍA SEGÚN TIPO DE GRADACIÓN			PESO DE LA MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO			
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Gradación B				
3" (75 mm)	2½" (63 mm)	-	-			
2½" (63 mm)	2" (50 mm)	-	-			
2" (50 mm)	1½" (37.5 mm)	-	-			
1½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	-	-			
1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	-	-			
3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	2500 ± 10	2500.30			
1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	2500 ± 10	2500.29			
3/8" (9.5 mm)	1/4" (6.3 mm)	-	-			
1/4" (6.3 mm)	Nº 4 (4.75 mm)	-	-			
Nº 4 (4.75 mm)	Nº 8 (2.36 mm)	-	-			
(A) Total (gr)		5000 ± 10	5000.59			
DATOS DESPUÉS DEL ENSAYO						
(B) Peso de la Muestra seca retenida en el tamiz Nº 12, después del ensayo [gr] =		3931.99				
(C) Peso que pasa el tamiz Nº 12, después del ensayo (A-B) [gr] =		1068.60				
(D) Desgaste (C/A) [%] =		21.37%				
RESULTADO						
Resultados de Abrasión [%]		21.37%				

Nota. Elaboración propia.

Figura 33: Ensayo para índice de durabilidad en piedra chancada.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	19/06/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO - MTC E 214						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Piedra chancada 1/2"					
Muestra:	2565.21 gr					
DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE						
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl_2)						
CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN		DATOS DEL AGITADOR				
		Recorrido de una Carrera [mm] =	6.00			
REACTIVOS Y MATERIALES		Velocidad de agitamiento [ciclos/min] =	285.00			
Cloruro de Calcio Anhídrico		Tiempo de agitamiento [seg] =	600.00			
DATOS DE LA SOLUCIÓN DE ENSAYO						
Glicerina QP o USP		Solución Stock o Solución Madre [ml] =	7.00			
Formaldehido (solución al 40% en volumen)		Agua de Lavado Turbia [ml] =	293.86			
Agua Destilada		0.5 gal (1893 ml)				
DATOS DEL AGUA DE LAVADO		DATOS DEL TAMIZ DE LAVADO				
Agua Destilada [ml] =		Tamiz	Nº 200 (75 μm)			
DATOS DEL VASO MECÁNICO DE LAVADO						
Diámetro Interior [mm] =		184.50	Diámetro Interior [mm] =			
Profundidad [mm] =		238.00	Altura [mm] =			
Capacidad [ml] =		6362.97	Graduado en mm hasta una altura =			
DATOS DE LA MUESTRA						
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Peso Seco requerido [gr]	Peso inicial [gr]			
3/4"	1/2"	1070 ± 10	1078.15			
1/2"	3/8"	570 ± 10	573.48			
3/8"	Nº 4	910 ± 5	913.58			
		2550 ± 25	2565.21			
RESULTADO						
Índice de durabilidad $((30.3 + 20.8/\tan(0.29 + 0.0059 \cdot A))/100) [\%]$			76.17%			
<i>Nota. Elaboración propia.</i>						

Figura 34: Índice de aplanamiento y alargamiento agregado grueso piedra chancada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																			
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																		
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro				Fecha:	18/06/2024													
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																		
ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS - MTC E 221																			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																			
Cantera:	Morro Blanco																		
Ubicación:	Calca San Salvador																		
Material:	Piedra chancada 1/2"																		
Muestra:	2371.51 gr																		
DATOS DE LA MUESTRA																			
Tamiz		(A) Peso retenido [gr]	(B) Retenido [%]	Pesos [gr]		(E) Iai (C/A) [%]	(F) Ili (D/A) [%]	(G) Ia (B*E) [%]	(H) II (B*F) [%]										
Pasa	Retiene			(C) Partículas chatas	(D) Partículas alargadas														
3/4"	1/2"	956.48	40.33%	41.58	1.98	4.35%	0.21%	1.75%	0.08%										
1/2"	3/8"	518.56	21.87%	84.56	5.26	16.31%	1.01%	3.57%	0.22%										
3/8"	1/4"	896.47	37.80%	89.15	11.01	9.94%	1.23%	3.76%	0.46%										
Total		2371.51	100.00%	215.29	18.25	30.60%	2.45%	9.08%	0.77%										
RESULTADO																			
Índice de aplanamiento de la fracción ensayada [%]					9.08%														
Índice de alargamiento de la fracción ensayada [%]					0.77%														
Total [%]					9.85%														

Nota. Elaboración propia.

Figura 35: Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso piedra chancada.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO													
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL													
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.													
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro			Fecha:	18/06/2024									
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.													
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO - MTC E 210														
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA														
Cantera:	Morro Blanco													
Ubicación:	Calca San Salvador													
Material:	Piedra chancada 1/2"													
Muestra:	1517.71 gr													
DATOS DE LA MUESTRA														
MUESTRA CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS														
Tamiz		(A) Peso inicial [gr]	(B) Peso después del ensayo [gr]	(C) Porcentaje después del ensayo (B/A) [%]	(D) Porcentaje retenido [%]	(E) Porcentaje con uno o más caras fracturadas (C*D) [%]								
Pasa	Retiene													
3/4"	1/2"	985.87	942.15	95.57%	64.96%	62.08%								
1/2"	3/8"	531.84	498.20	93.67%	35.04%	32.83%								
Total		1517.71	1440.35	189.24%	100.00%	94.90%								
Porcentaje con una o más caras fracturadas				94.90%										
MUESTRA CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS														
Tamiz		(A) Peso inicial [gr]	(B) Peso después del ensayo [gr]	(C) Porcentaje después del ensayo (B/A) [%]	(D) Porcentaje retenido [%]	(E) Porcentaje con dos o más caras fracturadas (C*D) [%]								
Pasa	Retiene													
3/4"	1/2"	985.87	915.54	92.87%	64.96%	60.32%								
1/2"	3/8"	531.84	475.15	89.34%	35.04%	31.31%								
Total		1517.71	1390.69	182.21%	100.00%	91.63%								
Porcentaje con dos o más caras fracturadas				91.63%										
RESULTADO														
Resultados de Caras Fracturadas					95/92									

Nota. Elaboración propia.

Figura 36: Sales solubles en agregado grueso piedra chancada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																				
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																			
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro						Fecha:	19/06/2024												
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																			
SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - MTC E 219																				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																				
Cantera:	Morro Blanco																			
Ubicación:	Calca San Salvador																			
Material:	Piedra chancada 1/2"																			
Muestra:	617.98 gr																			
DATOS DE LA MUESTRA																				
Tamaño	Peso requerido mínimo	Peso de la Probeta de 500 ml [gr]	(A) Peso de la Muestra Seca [gr]	(B) Volumen de líquido sobrenadante acumulado [ml]	(C) Aliquota de volumen de líquido sobrenadante [ml]	(D) Peso de Sales Cristalizadas de alicuota de líquido sobrenadante [gr]	(E) Porcentaje peso de pérdida (D/A*B/C) [%]	(F) Gradación original retenido [%]	(G) Porcentaje de pérdidas totales (E*F) [%]											
2" a 3/4"	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	-	0.00%	-											
3/4" a N°4	500.00	282.27	513.42	472.00	54.00	0.0690	0.1175%	96.87%	0.1138%											
N°4 a N°100	100.00	421.57	104.56	323.00	53.00	0.0280	0.1632%	3.08%	0.0050%											
			617.98						0.1188%											
RESULTADO																				
Sales solubles totales						0.1188%														

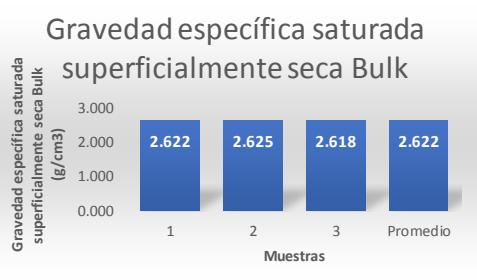
Nota. Elaboración propia.

Figura 37: Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – bitumen en piedra chancada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	19/06/2024			
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.					
REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE MEZCLAS AGREGADO – BITUMEN - MTC E 517						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Piedra chancada 1/2"					
Muestra:	100 gr					
DATOS DE LA MUESTRA						
Muestra N°	1	2	3			
Tipo de Asfalto	85/100					
Refinería	Petroperú					
Estado	Semi Sólido					
Condición del Agregado	Seco	Seco	Seco			
Cubrimiento [%]	100	100	100			
Curado	Sí	Sí	Sí			
Inmersión en agua destilada [h]	18	18	18			
Estimación Visual Área Recubierta [%]	+ 95	+ 95	+ 95			
RESULTADOS						
Estimación Visual Área Recubierta	+ 95					

Nota. Elaboración propia.

Figura 38: Peso específico y absorción agregado grueso piedra chancada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO													
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.												
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	17/06/2024										
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC												
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS - MTC E 206													
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA													
Cantera:	Morro Blanco												
Ubicación:	Calca San Salvador												
Material:	Piedra Chancada 1/2"												
Muestra:	6540.34 gr												
DATOS DE LA MUESTRA													
Descripción		1	2										
(A) Peso en el aire de la muestra seca [gr]		2180.72	2176.50										
(B) Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca [gr]		2199.50	2197.58										
(C) Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergida [gr]		1367.80	1368.56										
(Gsb) Gravedad específica seca Bulk (A/(B-C)) [gr/cm ³]		2.622	2.625										
(Gsssb) Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (B/(B-C)) [gr/cm ³]		2.645	2.651										
(Gsa) Gravedad específica seca aparente (A/(A-C)) [gr/cm ³]		2.683	2.694										
(Abs) Absorción ((B-A)/A) [%]		0.86%	0.97%										
		0.98%	0.94%										
		Promedio											
 <table border="1"> <caption>Gravedad específica seca aparente</caption> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica seca aparente (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.683</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.694</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.687</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>2.688</td> </tr> </tbody> </table>				Muestras	Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	1	2.683	2	2.694	3	2.687	Promedio	2.688
Muestras	Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)												
1	2.683												
2	2.694												
3	2.687												
Promedio	2.688												
 <table border="1"> <caption>Gravedad específica seca Bulk</caption> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.622</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.625</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.618</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>2.622</td> </tr> </tbody> </table>				Muestras	Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	1	2.622	2	2.625	3	2.618	Promedio	2.622
Muestras	Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)												
1	2.622												
2	2.625												
3	2.618												
Promedio	2.622												
 <table border="1"> <caption>Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk</caption> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.622</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.625</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.618</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>2.622</td> </tr> </tbody> </table>				Muestras	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	1	2.622	2	2.625	3	2.618	Promedio	2.622
Muestras	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)												
1	2.622												
2	2.625												
3	2.618												
Promedio	2.622												
 <table border="1"> <caption>Absorción (%)</caption> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Absorción (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.86%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.97%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.98%</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>0.94%</td> </tr> </tbody> </table>				Muestras	Absorción (%)	1	0.86%	2	0.97%	3	0.98%	Promedio	0.94%
Muestras	Absorción (%)												
1	0.86%												
2	0.97%												
3	0.98%												
Promedio	0.94%												
RESULTADO													
Resultado Absorción [%]	0.94%												

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°03: Ensayos de laboratorio caracterización agregado fino arena triturada

Figura 39: Equivalente de arena agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/06/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA - MTC E 114						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Arena triturada					
DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE						
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)						
CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN						
CANTIDAD		REACTIVOS Y MATERIALES				
454 gr (1 lb)		Cloruro de Calcio Anhidro				
2050 gr (1640 ml)		Glicerina QP o USP				
47gr (45 ml)		Formaldehido (el solución al 40% en volumen)				
0.5 gal (1893 ml)		Agua Destilada				
DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO		DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO				
Diámetro Interior [mm] =	55.00	REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD			
Profundidad [mm] =	35.00	Solución Stock o Solución Madre (ml)	83.15			
Capacidad [ml] =	83.15	Agua Destilada (ml)	3702.26			
DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL TUBO IRRIGADOR				
Diámetro Interior [mm] =	31.75	Diámetro Exterior [mm] =	6.35			
Altura [mm] =	430.00	Espesor del Material [mm] =	0.89			
Graduado en mm hasta una altura de	380.00	Longitud [mm] =	508.00			
DATOS DEL AGITADOR		DATOS DEL PISÓN				
Recorrido de una Carrera [mm] =	203.00	Peso del Pison [gr] =	998.95			
Velocidad de agitamiento [ciclos/min] =	175.00	Longitud de la barra metálica [mm] =	435.00			
DATOS DEL ENSAYO						
Descripción	M-1	M-2	M-3			
Lectura de la Arcilla [mm]	186	185	188			
Lectura del Disco Indicador [mm]	411	405	410			
Lectura de la Arena [mm]	157	151	156			
Porcentaje de arena con respecto a la arcilla [%]	84%	82%	83%			
RESULTADO						
Equivalente de arena [%]	83%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 40: Angularidad de agregado fino arena triturada.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/06/2024			
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.					
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO - MTC E 222						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Arena triturada					
Muestra:	427.11 gr	Pasante malla N°8 y retenido malla N°200				
DATOS DEL ENSAYO						
DESCRIPCIÓN	M - 1	M - 2	M - 3			
(A) Peso del Molde [gr]	100.30	100.30	100.30			
(B) Peso del Molde + Muestra Suelta [gr]	243.54	241.58	242.89			
(C) Peso de la Muestra Suelta (B-A) [gr]	143.24	141.28	142.59			
(D) Altura del Molde [cm]	8.66	8.66	8.66			
(E) Diámetro del Molde [cm]	3.89	3.89	3.89			
(F) Volumen del Molde ($D^2 \cdot E^2 / 4$) [cm^3]	102.92	102.92	102.92			
(G) Peso Unitario Suelto (C/F) [gr/ cm^3]	1.39	1.37	1.39			
(H) Peso Específico [gr/ cm^3]	2.61	2.61	2.61			
(I) Peso Unitario Suelto ($G \cdot 1000$) [kg/ m^3]	1391.74	1372.69	1385.42			
(J) Angularidad $((F-C)/H) \cdot 100$ [%]	47%	47%	47%			
RESULTADO						
Angularidad del agregado fino [%]	47%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 41: Azul de metileno de agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/06/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
AZUL DE METILENO - AASHTO TP 057						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Arena triturada					
Muestra:	300.00 gr	Pasante malla N°8 y retenido malla N°200				
DATOS DEL ENSAYO						
DESCRIPCIÓN	M - 1	M - 2	M - 3			
(A) Peso material preparado [gr]	100.00	100.00	100.00			
(B) Peso material seco utilizado en la prueba [gr]	10.00	10.00	10.00			
(C) Agua destilada añadida [ml]	30.00	30.00	30.00			
(D) Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo [ml]	0.50	0.50	0.50			
(F) Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo [ml]	7.00	7.50	7.00			
(G) Concentracion Azul Metileno de solucion [gr/ml]	8.00	8.00	8.00			
(H) Valor azul de metileno [mgr/gr]	5.60	6.00	5.60			
RESULTADO						
Valor azul de metileno	5.73					

Nota. Elaboración propia.

Figura 42: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos de arena triturada.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha: 20/06/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL-WEBER) - MTC E 220						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Arena triturada					
Muestra:	200.00 gr	Lavada, pasante malla N°30 y retenido malla N°70				
Reactivos:	Na ₂ CO ₃ Carbonato sódico y agua destilada					
Asfalto:	PEN 85/100					
Temperatura:	140-175 °C					
SOLUCIONES DE ENSAYO		ÍNDICE DE RIEDEL WEBER				
Molaridad	Gramos de Na ₂ CO ₃ / 1 litro de disolución	Desplazamiento con agua destilada	0			
M/256	0.414	Desplazamiento con disolución al M/256	1			
M/128	0.828	Desplazamiento con disolución al M/128	2			
M/64	1.656	Desplazamiento con disolución al M/64	3			
M/32	3.312	Desplazamiento con disolución al M/32	4			
M/16	6.625	Desplazamiento con disolución al M/16	5			
M/8	13.25	Desplazamiento con disolución al M/8	6			
M/4	26.5	Desplazamiento con disolución al M/4	7			
M/2	53	Desplazamiento con disolución al M/2	8			
M/1	106	Desplazamiento con disolución al M/1	9			
		Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10			
RESULTADO						
Adhesividad RIEDEL - WEBER			6			

Nota. Elaboración propia.

Figura 43: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																					
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																				
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro					Fecha:	24/06/2024														
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																				
DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO - MTC E 209																					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																					
Cantera:	Morro Blanco																				
Ubicación:	Calca San Salvador																				
Material:	Arena triturada																				
Muestra:	765.72 gr																				
DATOS DE LA MUESTRA																					
Tamaño	Peso mínimo requerido [gr]	(A) Peso inicial [gr]	(B) Porcentaje peso inicial [%]	¿Cumple peso inicial?	(C) Peso final [gr]	(D) Peso de pérdida (A-C) [gr]	(E) Porcentaje peso de pérdida (D/A) [%]	(F) Gradación original retenido acumulado [%]	(G) Porcentaje de pérdidas totales (E*F) [%]												
3/8" a N°4	100.00	160.36	20.94%	CUMPLE	148.38	11.98	7.47%	11.26%	0.84%												
N°4 a N°8	100.00	150.03	19.59%	CUMPLE	123.84	26.19	17.46%	14.71%	2.57%												
N°8 a N°16	100.00	152.19	19.88%	CUMPLE	127.53	24.66	16.20%	14.33%	2.32%												
N°16 a N°30	100.00	150.84	19.70%	CUMPLE	133.66	17.18	11.39%	24.08%	2.74%												
N°30 a N°50	100.00	152.30	19.89%	CUMPLE	132.30	20.00	13.13%	21.57%	2.83%												
		765.72	100.00%		665.71				11.30%												
RESULTADO																					
Durabilidad al sulfato de magnesio					11.30%																

Nota. Elaboración propia.

Figura 44: Ensayo para índice de durabilidad agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	26/06/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO - MTC E 214						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morro Blanco					
Ubicación:	Calca San Salvador					
Material:	Arena triturada					
Muestra:	500.14 gr					
DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE						
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)						
CANTIDAD		REACTIVOS Y MATERIALES				
454 gr (1 lb)		Cloruro de Calcio Anhidro				
2050 gr (1640 ml)		Glicerina QP o USP				
47gr (45 ml)		Formaldehido (el solución al 40% en volumen)				
0.5 gal (1893 ml)		Agua Destilada				
DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO		DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO				
Diámetro Interior (mm) =	56	REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD			
Profundidad (mm) =	36	Solución Stock o Solución Madre (ml)	88.66831105			
Capacidad (ml) =	88.66831105	Agua Destilada (ml)	3696.743473			
DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL TUBO IRRIGADOR				
Diámetro Interior (mm) =	31.75	Diámetro Exterior (mm) =	6.35			
Altura (mm) =	430	Espesor del Material (mm) =	0.89			
Graduado en mm hasta una altura =	380	Longitud (mm) =	508			
DATOS DEL AGITADOR		DATOS DEL PISÓN				
Recorrido de una Carrera(mm) =	203	Peso del Pison (gr) =	998.95			
Velocidad de agitamiento (ciclos/min) =	175	Longitud de la barra metálica (mm) =	435			
Tiempo de agitamiento (seg) =	600	Longitud base al disco indicador (mm) =	254			
DATOS DEL ENSAYO						
Lectura de la Arcilla =	215.00 mm					
Lectura del Disco Indicador =	353.00 mm					
Lectura de la Arena =	99.00 mm					
RESULTADO						
Índice de durabilidad [%]	46.05%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 45: Índice de plasticidad malla N°40 agregado fino arena triturada.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL			
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.				
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha:	20/06/2024	
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:	Morro Blanco				
Ubicación:	Calle San Salvador				
Material:	Arena triturada tamizada por la malla N°40				
DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110					
DESCRIPCIÓN			1	2	3
Número de Golpes					
(A) Peso de Capsula [gr]					
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]					
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]					
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]					
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]					
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]					
DETERMINACION DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD - MTC E 111					
DESCRIPCIÓN			1	2	3
(A) Peso de Capsula [gr]					
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]					
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]					
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]					
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]					
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]					
LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		MUESTRAS	
53.0% 43.0% 33.0% 23.0%		100.00% 80.00% 60.00% 40.00% 20.00% 0.00%		1 2 3 Promedio	
10 100					
◆ Ensayos con cuchara de Casagrande		— Límite Líquido			
Límite líquido =	No presenta	Límite plástico =	No presenta	Índice de plasticidad =	No plástico
RESULTADO					
Índice de plasticidad			No plástico		

Nota. Elaboración propia.

Figura 46: Índice de plasticidad malla N°200 agregado fino arena triturada.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.							
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/06/2024					
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC							
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA								
Cantera:	Morro Blanco							
Ubicación:	Calle San Salvador							
Material:	Arena triturada tamizada por la malla N°200							
DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110								
DESCRIPCIÓN			1	2	3			
Número de Golpes								
(A) Peso de Capsula [gr]								
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]								
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]								
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]								
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]								
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]								
DETERMINACION DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD - MTC E 111								
DESCRIPCIÓN			1	2	3			
(A) Peso de Capsula [gr]								
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]								
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]								
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]								
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]								
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]								
LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO					
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		MUESTRAS				
53.0%		100.00%		Promedio				
43.0%		80.00%						
33.0%		60.00%						
23.0%		40.00%						
10		20.00%						
NÚMERO DE GOLPES		0.00%						
◆ Ensayos con cuchara de Casagrande		1		2				
— Límite Líquido		3		Promedio				
RESULTADO								
Índice de plasticidad			No plástico					

Nota. Elaboración propia.

Figura 47: Sales solubles agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																				
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																			
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro						Fecha:	25/06/2024												
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																			
SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - MTC E 219																				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																				
Cantera:	Morro Blanco																			
Ubicación:	Calca San Salvador																			
Material:	Arena triturada																			
Muestra:	617.98 gr																			
DATOS DE LA MUESTRA																				
Tamaño	Peso requerido mínimo	Peso de la Probeta de 500 ml [gr]	(A) Peso de la Muestra Seca [gr]	(B) Volumen de líquido sobrenadante acumulado [ml]	(C) Aliquota de volumen de líquido sobrenadante [ml]	(D) Peso de Sales Cristalizadas de alícuota de líquido sobrenadante [gr]	(E) Porcentaje peso de pérdida (D/A*B/C) [%]	(F) Gradación original retenido [%]	(G) Porcentaje de pérdidas totales (E*F) [%]											
2" a 3/4"	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	-	0.00%	-											
3/4" a N°4	500.00	282.27	513.42	472.00	54.00	0.0690	0.12%	4.49%	0.01%											
N°4 a N°100	100.00	421.57	104.56	323.00	53.00	0.0280	0.16%	86.99%	0.14%											
			617.98						0.15%											
RESULTADO																				
Sales solubles totales					0.15%															

Nota. Elaboración propia.

Figura 48: Peso específico y absorción agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																																														
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																														
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																														
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																																													
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	17/06/2024																																											
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC																																													
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS - MTC E 205																																														
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																																														
Cantera:	Morro Blanco																																													
Ubicación:	Calca San Salvador																																													
Material:	Arena triturada																																													
Muestra:	1493.62 gr																																													
DATOS DE LA MUESTRA																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding-bottom: 5px;">Descripción</th> <th style="text-align: center; width: 15%;">1</th> <th style="text-align: center; width: 15%;">2</th> <th style="text-align: center; width: 15%;">3</th> <th style="text-align: center; width: 15%;">Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(A) Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr)</td> <td style="text-align: center;">497.57</td> <td style="text-align: center;">497.68</td> <td style="text-align: center;">498.37</td> <td style="text-align: center;">497.87</td> </tr> <tr> <td>(B) Volumen del frasco (cm³)</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> </tr> <tr> <td>(C) Peso (gr) o volumen (cm³) de agua añadida al frasco</td> <td style="text-align: center;">309.21</td> <td style="text-align: center;">308.95</td> <td style="text-align: center;">308.75</td> <td style="text-align: center;">308.97</td> </tr> <tr> <td>(D) Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> <td style="text-align: center;">500.00</td> </tr> <tr> <td>(Gsb) Gravedad específica seca Bulk (A/(B-C)) [gr/cm³]</td> <td style="text-align: center;">2.608</td> <td style="text-align: center;">2.605</td> <td style="text-align: center;">2.606</td> <td style="text-align: center;">2.606</td> </tr> <tr> <td>(Gsssb) Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (D/(B-C)) [gr/cm³]</td> <td style="text-align: center;">2.621</td> <td style="text-align: center;">2.617</td> <td style="text-align: center;">2.614</td> <td style="text-align: center;">2.617</td> </tr> <tr> <td>(Gsa) Gravedad específica seca aparente (A/(B-C-D+A)) [gr/cm³]</td> <td style="text-align: center;">2.642</td> <td style="text-align: center;">2.637</td> <td style="text-align: center;">2.628</td> <td style="text-align: center;">2.636</td> </tr> <tr> <td>(Abs) Absorción ((D-A)/A) [%]</td> <td style="text-align: center;">0.49%</td> <td style="text-align: center;">0.47%</td> <td style="text-align: center;">0.33%</td> <td style="text-align: center;">0.43%</td> </tr> </tbody> </table>		Descripción	1	2	3	Promedio	(A) Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr)	497.57	497.68	498.37	497.87	(B) Volumen del frasco (cm ³)	500.00	500.00	500.00	500.00	(C) Peso (gr) o volumen (cm ³) de agua añadida al frasco	309.21	308.95	308.75	308.97	(D) Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00	500.00	(Gsb) Gravedad específica seca Bulk (A/(B-C)) [gr/cm ³]	2.608	2.605	2.606	2.606	(Gsssb) Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (D/(B-C)) [gr/cm ³]	2.621	2.617	2.614	2.617	(Gsa) Gravedad específica seca aparente (A/(B-C-D+A)) [gr/cm ³]	2.642	2.637	2.628	2.636	(Abs) Absorción ((D-A)/A) [%]	0.49%	0.47%	0.33%	0.43%
Descripción	1	2	3	Promedio																																										
(A) Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr)	497.57	497.68	498.37	497.87																																										
(B) Volumen del frasco (cm ³)	500.00	500.00	500.00	500.00																																										
(C) Peso (gr) o volumen (cm ³) de agua añadida al frasco	309.21	308.95	308.75	308.97																																										
(D) Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00	500.00																																										
(Gsb) Gravedad específica seca Bulk (A/(B-C)) [gr/cm ³]	2.608	2.605	2.606	2.606																																										
(Gsssb) Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (D/(B-C)) [gr/cm ³]	2.621	2.617	2.614	2.617																																										
(Gsa) Gravedad específica seca aparente (A/(B-C-D+A)) [gr/cm ³]	2.642	2.637	2.628	2.636																																										
(Abs) Absorción ((D-A)/A) [%]	0.49%	0.47%	0.33%	0.43%																																										
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Gravedad específica seca aparente</p> <table border="1" style="margin-top: 5px; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica seca aparente (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.608</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.605</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.606</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.606</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Gravedad específica seca Bulk</p> <table border="1" style="margin-top: 5px; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.621</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.617</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.614</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.617</td></tr> </tbody> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk</p> <table border="1" style="margin-top: 5px; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.621</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.617</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.614</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.617</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Absorción (%)</p> <table border="1" style="margin-top: 5px; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Absorción (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.49%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.47%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.33%</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.43%</td></tr> </tbody> </table> </div> </div>		Muestras	Gravedad específica seca aparente (g/cm³)	1	2.608	2	2.605	3	2.606	Promedio	2.606	Muestras	Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)	1	2.621	2	2.617	3	2.614	Promedio	2.617	Muestras	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)	1	2.621	2	2.617	3	2.614	Promedio	2.617	Muestras	Absorción (%)	1	0.49%	2	0.47%	3	0.33%	Promedio	0.43%					
Muestras	Gravedad específica seca aparente (g/cm³)																																													
1	2.608																																													
2	2.605																																													
3	2.606																																													
Promedio	2.606																																													
Muestras	Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)																																													
1	2.621																																													
2	2.617																																													
3	2.614																																													
Promedio	2.617																																													
Muestras	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)																																													
1	2.621																																													
2	2.617																																													
3	2.614																																													
Promedio	2.617																																													
Muestras	Absorción (%)																																													
1	0.49%																																													
2	0.47%																																													
3	0.33%																																													
Promedio	0.43%																																													
RESULTADO																																														
Resultados de Absorción (%)	0.43%																																													

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°04: Ensayos de laboratorio caracterización agregado fino arena natural

Figura 49: Equivalente de arena agregado fino arena natural.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/07/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA - MTC E 114						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Cunyac					
Ubicación:	Cusco					
Material:	Arena natural					
DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE						
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)						
CANTIDADES, REACTIVOS Y MATERIALES PARA SU PREPARACIÓN						
CANTIDAD		REACTIVOS Y MATERIALES				
454 gr (1 lb)		Cloruro de Calcio Anhidro				
2050 gr (1640 ml)		Glicerina QP o USP				
47gr (45 ml)		Formaldehido (el solución al 40% en volumen)				
0.5 gal (1893 ml)		Agua Destilada				
DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO		DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO				
Diámetro Interior [mm] =	55.00	REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD			
Profundidad [mm] =	35.00	Solución Stock o Solución Madre (ml)	83.15			
Capacidad [ml] =	83.15	Agua Destilada (ml)	3702.26			
DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL TUBO IRRIGADOR				
Diámetro Interior [mm] =	31.75	Diámetro Exterior [mm] =	6.35			
Altura [mm] =	430.00	Espesor del Material [mm] =	0.89			
Graduado en mm hasta una altura de	380.00	Longitud [mm] =	508.00			
DATOS DEL AGITADOR		DATOS DEL PISÓN				
Recorrido de una Carrera [mm] =	203.00	Peso del Pison [gr] =	998.95			
Velocidad de agitamiento [ciclos/min] =	175.00	Longitud de la barra metálica [mm] =	435.00			
DATOS DEL ENSAYO						
Descripción	M-1	M-2	M-3			
Lectura de la Arcilla [mm]	185	183	186			
Lectura del Disco Indicador [mm]	403	407	409			
Lectura de la Arena [mm]	149	153	155			
Porcentaje de arena con respecto a la arcilla [%]	81%	84%	83%			
RESULTADO						
Equivalente de arena [%]	82%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 50: Angularidad de agregado fino arena natural.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/07/2024			
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.					
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO - MTC E 222						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Cunyac					
Ubicación:	Cusco					
Material:	Arena natural					
Muestra:	421.28 gr	Pasante malla N°8 y retenido malla N°200				
DATOS DEL ENSAYO						
DESCRIPCIÓN	M - 1	M - 2	M - 3			
(A) Peso del Molde [gr]	100.30	100.30	100.30			
(B) Peso del Molde + Muestra Suelta [gr]	241.50	240.10	240.58			
(C) Peso de la Muestra Suelta (B-A) [gr]	141.20	139.80	140.28			
(D) Altura del Molde [cm]	8.66	8.66	8.66			
(E) Diámetro del Molde [cm]	3.89	3.89	3.89			
(F) Volumen del Molde ($D^2 \cdot E^2 / 4$) [cm^3]	102.92	102.92	102.92			
(G) Peso Unitario Suelto (C/F) [gr/ cm^3]	1.37	1.36	1.36			
(H) Peso Específico [gr/ cm^3]	2.57	2.57	2.57			
(I) Peso Unitario Suelto ($G \cdot 1000$) [kg/m^3]	1371.92	1358.31	1362.98			
(J) Angularidad $((F-C)/H) \cdot 100$ [%]	47%	47%	47%			
RESULTADO						
Angularidad del agregado fino [%]	47%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 51: Azul de metileno de agregado fino arena natural.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha: 20/06/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
AZUL DE METILENO - AASHTO TP 057						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Cunyac					
Ubicación:	Cusco					
Material:	Arena natural					
Muestra:	300.00 gr	Pasante malla N°8 y retenido malla N°200				
DATOS DEL ENSAYO						
DESCRIPCIÓN	M - 1	M - 2	M - 3			
(A) Peso material preparado [gr]	100.00	100.00	100.00			
(B) Peso material seco utilizado en la prueba [gr]	10.00	10.00	10.00			
(C) Agua destilada añadida [ml]	30.00	30.00	30.00			
(D) Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo [ml]	0.50	0.50	0.50			
(F) Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo [ml]	7.50	7.50	7.50			
(G) Concentracion Azul Metileno de solucion [gr/ml]	8.00	8.00	8.00			
(H) Valor azul de metileno [mgr/gr]	6.00	6.00	6.00			
RESULTADO						
Valor azul de metileno	6.00					

Nota. Elaboración propia.

Figura 52: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos de arena natural.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.			
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha: 20/06/2024		
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.			
ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL-WEBER) - MTC E 220				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Cunyac			
Ubicación:	Cusco			
Material:	Arena natural			
Muestra:	200.00 gr	Lavada, pasante malla N°30 y retenido malla N°70		
Reactivos:	Na ₂ CO ₃ Carbonato sódico y agua destilada			
Asfalto:	PEN 85/100			
Temperatura:	140-175 °C			
SOLUCIONES DE ENSAYO		ÍNDICE DE RIEDEL WEBER		
Molaridad	Gramos de Na ₂ CO ₃ / 1 litro de disolución	Desplazamiento con agua destilada 0		
M/256	0.414	Desplazamiento con disolución al M/256 1		
M/128	0.828	Desplazamiento con disolución al M/128 2		
M/64	1.656	Desplazamiento con disolución al M/64 3		
M/32	3.312	Desplazamiento con disolución al M/32 4		
M/16	6.625	Desplazamiento con disolución al M/16 5		
M/8	13.25	Desplazamiento con disolución al M/8 6		
M/4	26.5	Desplazamiento con disolución al M/4 7		
M/2	53	Desplazamiento con disolución al M/2 8		
M/1	106	Desplazamiento con disolución al M/1 9		
		Si no hay desplazamiento total con la solución M/1 10		
RESULTADO				
Adhesividad RIEDEL - WEBER		6		

Nota. Elaboración propia.

Figura 53: Durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino arena natural.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																				
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																			
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro						Fecha:	24/07/2024												
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																			
DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO - MTC E 209																				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																				
Cantera:	Cunyac																			
Ubicación:	Cusco																			
Material:	Arena triturada																			
Muestra:	771.86 gr																			
DATOS DE LA MUESTRA																				
Tamaño	Peso mínimo requerido [gr]	(A) Peso inicial [gr]	(B) Porcentaje peso inicial [%]	¿Cumple peso inicial?	(C) Peso final [gr]	(D) Peso de pérdida (A-C) [gr]	(E) Porcentaje peso de pérdida (D/A) [%]	(F) Gradación original retenido acumulado [%]	(G) Porcentaje de perdidas totales (E*F) [%]											
3/8" a N°4	100.00	140.36	18.18%	CUMPLE	134.54	5.82	4.15%	11.26%	0.47%											
N°4 a N°8	100.00	162.40	21.04%	CUMPLE	138.54	23.86	14.69%	14.71%	2.16%											
N°8 a N°16	100.00	158.40	20.52%	CUMPLE	128.50	29.90	18.88%	14.33%	2.71%											
N°16 a N°30	100.00	142.58	18.47%	CUMPLE	122.60	19.98	14.01%	24.08%	3.37%											
N°30 a N°50	100.00	168.12	21.78%	CUMPLE	152.50	15.62	9.29%	21.57%	2.00%											
		771.86	99.99%		676.68				10.71%											
RESULTADO																				
Durabilidad al sulfato de magnesio [%]					10.71%															

Nota. Elaboración propia.

Figura 54: Ensayo para índice de durabilidad agregado fino arena natural.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	26/07/2024			
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.					
PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADO - MTC E 214						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Cunyac					
Ubicación:	Cusco					
Material:	Arena triturada					
Muestra:	500.09 gr					
DATOS DE LA SOLUCIÓN STOCK O SOLUCIÓN MADRE						
Tipo Cloruro de Calcio (Ca Cl ₂)						
CANTIDAD		REACTIVOS Y MATERIALES				
454 gr (1 lb)		Cloruro de Calcio Anhidro				
2050 gr (1640 ml)		Glicerina QP o USP				
47gr (45 ml)		Formaldehido (el solución al 40% en volumen)				
0.5 gal (1893 ml)		Agua Destilada				
DATOS DEL RECIPIENTE METÁLICO		DATOS DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO				
Diámetro Interior (mm) =	56	REACTIVOS Y MATERIALES	CANTIDAD			
Profundidad (mm) =	36	Solución Stock o Solución Madre (ml)	88.66831105			
Capacidad (ml) =	88.66831105	Agua Destilada (ml)	3696.743473			
DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL TUBO IRRIGADOR				
Diámetro Interior (mm) =	31.75	Diámetro Exterior (mm) =	6.35			
Altura (mm) =	430	Espesor del Material (mm) =	0.89			
Graduado en mm hasta una altura =	380	Longitud (mm) =	508			
DATOS DEL AGITADOR		DATOS DEL PISÓN				
Recorrido de una Carrera(mm) =	203	Peso del Pison (gr) =	998.95			
Velocidad de agitamiento (ciclos/min) =	175	Longitud de la barra metálica (mm) =	435			
Tiempo de agitamiento (seg) =	600	Longitud base al disco indicador (mm) =	254			
DATOS DEL ENSAYO						
Lectura de la Arcilla =	213.00 mm					
Lectura del Disco Indicador =	349.00 mm					
Lectura de la Arena =	95.00 mm					
RESULTADO						
Índice de durabilidad [%]	44.60%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 55: Índice de plasticidad malla N°40 agregado fino arena natural.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.						
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha:	20/07/2024			
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA							
Cantera:	Cunyac						
Ubicación:	Cusco						
Material:	Arena triturada tamizada por la malla N°40						
DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110							
DESCRIPCIÓN			1	2	3		
Número de Golpes							
(A) Peso de Capsula [gr]							
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]							
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]							
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]							
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]							
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]							
DETERMINACION DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD - MTC E 111							
DESCRIPCIÓN			1	2	3		
(A) Peso de Capsula [gr]							
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]							
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]							
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]							
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]							
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]							
LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO				
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD			
53.0%		100.00%		100.00%			
43.0%		80.00%		80.00%			
33.0%		60.00%		60.00%			
23.0%		40.00%		40.00%			
10		20		20			
Número de golpes		3		3			
◆ Ensayos con cuchara de Casagrande		Promedio		Promedio			
RESULTADO							
Índice de plasticidad			No plástico				

Nota. Elaboración propia.

Figura 56: Índice de plasticidad malla N°200 agregado fino arena natural.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.							
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	20/07/2024					
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC							
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA								
Cantera:	Cunyac							
Ubicación:	Cusco							
Material:	Arena triturada tamizada por la malla N°200							
DETERMINACION DEL LÍMITE LÍQUIDO - MTC E 110								
DESCRIPCIÓN			1	2	3			
Número de Golpes								
(A) Peso de Capsula [gr]								
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]								
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]								
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]								
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]								
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]								
DETERMINACION DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD - MTC E 111								
DESCRIPCIÓN			1	2	3			
(A) Peso de Capsula [gr]								
(B) Peso de Capsula + Muestra Húmeda [gr]								
(C) Peso de Capsula + Muestra Seca [gr]								
(D) Peso del Agua (B-C) [gr]								
(E) Peso de la Muestra Seca (C-A) [gr]								
(F) Contenido de Humedad (D/E) [%]								
LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO					
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD				
53.0%		100.00%		100.00%				
43.0%		80.00%		80.00%				
33.0%		60.00%		60.00%				
23.0%		40.00%		40.00%				
10		20.00%		20.00%				
100		0.00%		0.00%				
◆ Ensayos con cuchara de Casagrande		— Límite Líquido		— Límite Plástico				
RESULTADO								
Índice de plasticidad			No plástico					

Nota. Elaboración propia.

Figura 57: Sales solubles agregado fino arena natural.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																				
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																			
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro						Fecha:	25/06/2024												
Laboratorio:	Ingeniería y Consultoría Inka Test E.I.R.L.																			
SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - MTC E 219																				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																				
Cantera:	Cunyac																			
Ubicación:	Cusco																			
Material:	Arena natural																			
Muestra:	607.03 gr																			
DATOS DE LA MUESTRA																				
Tamaño	Peso requerido mínimo	Peso de la Probeta de 500 ml [gr]	(A) Peso de la Muestra Seca [gr]	(B) Volumen de líquido sobrenadante acumulado [ml]	(C) Aliquota de volumen de líquido sobrenadante [ml]	(D) Peso de Sales Cristalizadas de alícuota de líquido sobrenadante [gr]	(E) Porcentaje peso de pérdida (D/A*B/C) [%]	(F) Gradación original retenido [%]	(G) Porcentaje de pérdidas totales (E*F) [%]											
2" a 3/4"	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	-	0.00%	-											
3/4" a N°4	500.00	282.27	504.58	481.50	54.00	0.0870	0.15%	2.95%	0.00%											
N°4 a N°100	100.00	421.57	102.45	345.50	54.00	0.0540	0.34%	95.28%	0.32%											
			607.03						0.33%											
RESULTADO																				
Sales solubles totales [%]					0.33%															

Nota. Elaboración propia.

Figura 58: Peso específico y absorción agregado fino arena natural.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																																											
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																											
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																											
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																																												
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha:	6/07/2024																																									
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC																																												
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS - MTC E 205																																													
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																																													
Cantera:	Cunyac																																												
Ubicación:	Cusco																																												
Material:	Arena natural																																												
Muestra:	1494.07 gr																																												
DATOS DE LA MUESTRA																																													
Descripción			1	2	3																																								
(A) Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr)			497.78	498.35	497.94																																								
(B) Volumen del frasco (cm ³)			500.00	500.00	500.00																																								
(C) Peso (gr) o volumen (cm ³) de agua añadida al frasco			306.10	306.26	305.98																																								
(D) Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)			500.00	500.00	500.00																																								
(Gsb) Gravedad específica seca Bulk (A/(B-C)) [gr/cm ³]			2.567	2.572	2.566																																								
(Gsssb) Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (D/(B-C)) [gr/cm ³]			2.579	2.581	2.577																																								
(Gsa) Gravedad específica seca aparente (A/(B-C-D+A)) [gr/cm ³]			2.597	2.594	2.594																																								
(Abs) Absorción ((D-A)/A) [%]			0.45%	0.33%	0.41%																																								
			0.40%																																										
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Gravedad específica seca aparente</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica seca aparente (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.567</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.572</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.566</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.568</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Gravedad específica seca Bulk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.579</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.581</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.577</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.579</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.579</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.581</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.577</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>2.579</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Absorción (%)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>Absorción (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.45%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.33%</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.41%</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>0.40%</td></tr> </tbody> </table> </div> </div>						Muestras	Gravedad específica seca aparente (g/cm³)	1	2.567	2	2.572	3	2.566	Promedio	2.568	Muestras	Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)	1	2.579	2	2.581	3	2.577	Promedio	2.579	Muestras	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)	1	2.579	2	2.581	3	2.577	Promedio	2.579	Muestras	Absorción (%)	1	0.45%	2	0.33%	3	0.41%	Promedio	0.40%
Muestras	Gravedad específica seca aparente (g/cm³)																																												
1	2.567																																												
2	2.572																																												
3	2.566																																												
Promedio	2.568																																												
Muestras	Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)																																												
1	2.579																																												
2	2.581																																												
3	2.577																																												
Promedio	2.579																																												
Muestras	Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)																																												
1	2.579																																												
2	2.581																																												
3	2.577																																												
Promedio	2.579																																												
Muestras	Absorción (%)																																												
1	0.45%																																												
2	0.33%																																												
3	0.41%																																												
Promedio	0.40%																																												
RESULTADO																																													
Resultados de Absorción (%)			0.40%																																										

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°05: Ensayos de laboratorio análisis granulométrico de filler (Cemento)

Figura 59: Análisis granulométrico filler (Cemento).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																					
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																				
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha:	19/06/2024																	
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS - MTC E 204																					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																					
Material:	Cemento Yura IP																				
Muestra:	1536.18 gr																				
Gradación:	MAC-02																				
DATOS DE LA MUESTRA																					
Tamiz	Peso retenido	Peso retenido	Porcentaje	Peso retenido	Porcentaje	Porcentaje	Límite inferior	Límite superior													
Normal (mm)	Alterno	(gr)	corregido (gr)	retenido (%)	acumulado (gr)	retenido acumulado (%)															
25.000	1"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%													
19.000	3/4"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%													
12.500	1/2"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	80%													
9.500	3/8"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	70%													
4.750	N.º 4	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	51%													
2.000	N.º 10	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	38%													
0.425	N.º 40	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	17%													
0.180	N.º 80	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	8%													
0.075	N.º 200	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	4%													
0.000	Cazuela	1533.40	1536.18	100.00%	1536.18	100.00%	0.00%														
Total		1533.40	1536.18	100.00%																	

CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA								
						Porcentaje que pasa (%)		
						0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%		
Tamiz (mm)								
0.010								
0.100								
1.000								
10.000								
100.000								

.....●..... Límite inferior
●..... Límite superior
 —●— Porcentaje que pasa (%)

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°06: Ensayos de laboratorio material bituminoso Asfalto PEN 85/100

Figura 60: Penetración del material bituminoso asfalto PEN 85/100.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.					
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	27/07/2024			
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC					
PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS - MTC E 304						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Material:	Asfalto PEN 85/100					
Ubicación:	Cusco					
Muestra:	3.00 und					
DATOS DE LA MUESTRA						
DESCRIPCIÓN	1	2	3			
Temperatura de ensayo	25 °C					
Carga	100 gr					
Duración de carga aplicada	5 seg					
Penetración parcial [0.1 mm]	96.00	91.00	95.00			
Penetración promedio [0.1 mm]	94.00					
RESULTADO						
Penetración asfalto PEN 85/100 [0.1 mm]	94.00					

Nota. Elaboración propia.

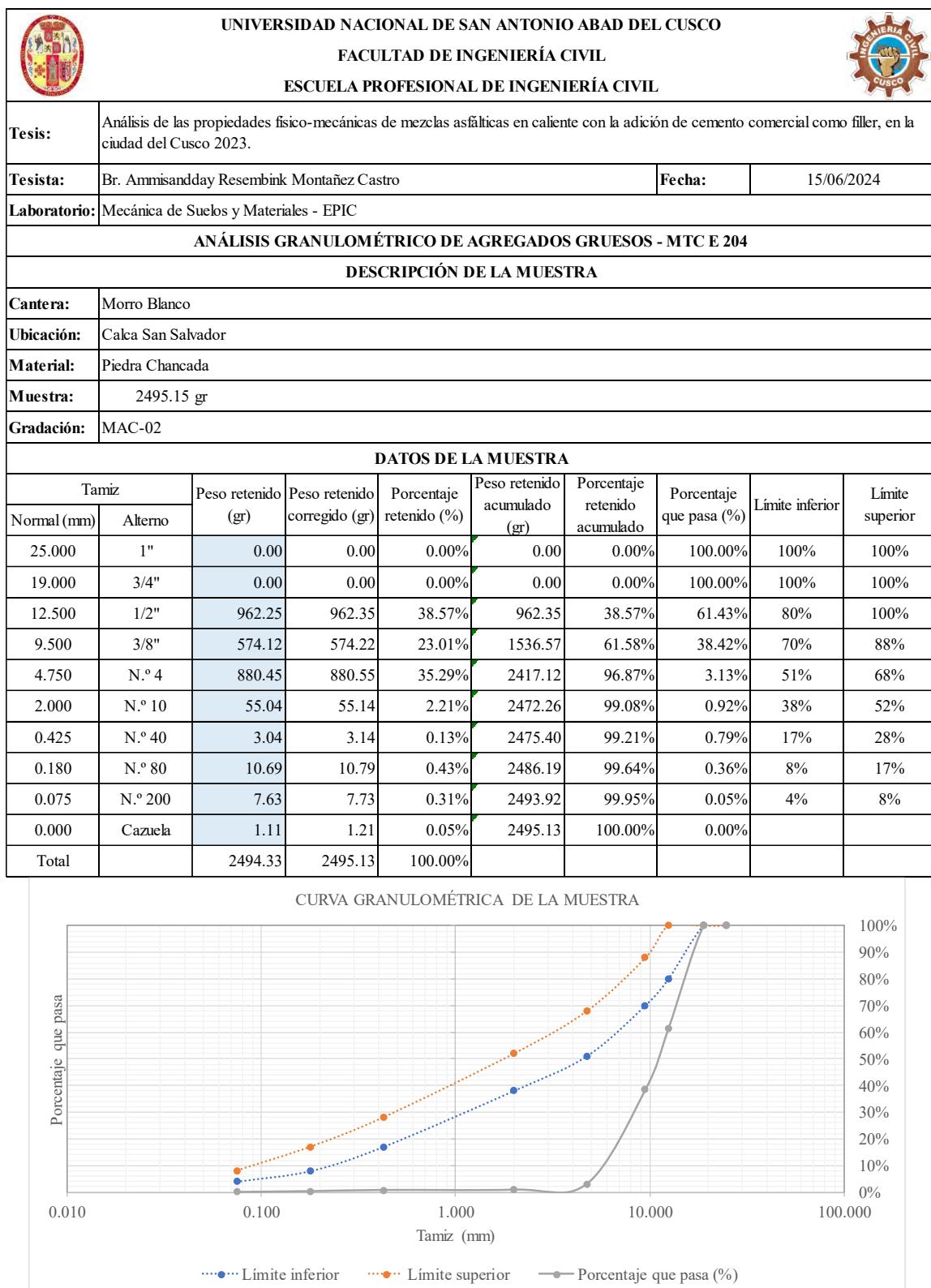
Figura 61: Ductilidad del material bituminoso asfalto PEN 85/100.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO										
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL										
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.											
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro		Fecha:	27/07/2024								
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC											
DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS - MTC E 306												
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA												
Material:	Asfalto PEN 85/100											
Ubicación:	Cusco											
Muestra:	3.00 und											
DATOS DE LA MUESTRA												
DESCRIPCIÓN		1	2	3								
Temperatura de ensayo		25 °C										
Velocidad		5 cm/min										
Distancia de ruptura parcial [cm]		104.50	103.00	105.40								
Distancia de ruptura promedio [cm]		104.30										
RESULTADO												
Ductilidad asfalto PEN 85/100 [cm]		104.30										

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°07: Ensayos de laboratorio análisis granulométrico de agregados

Figura 62: Análisis granulométrico agregado grueso piedra chancada.



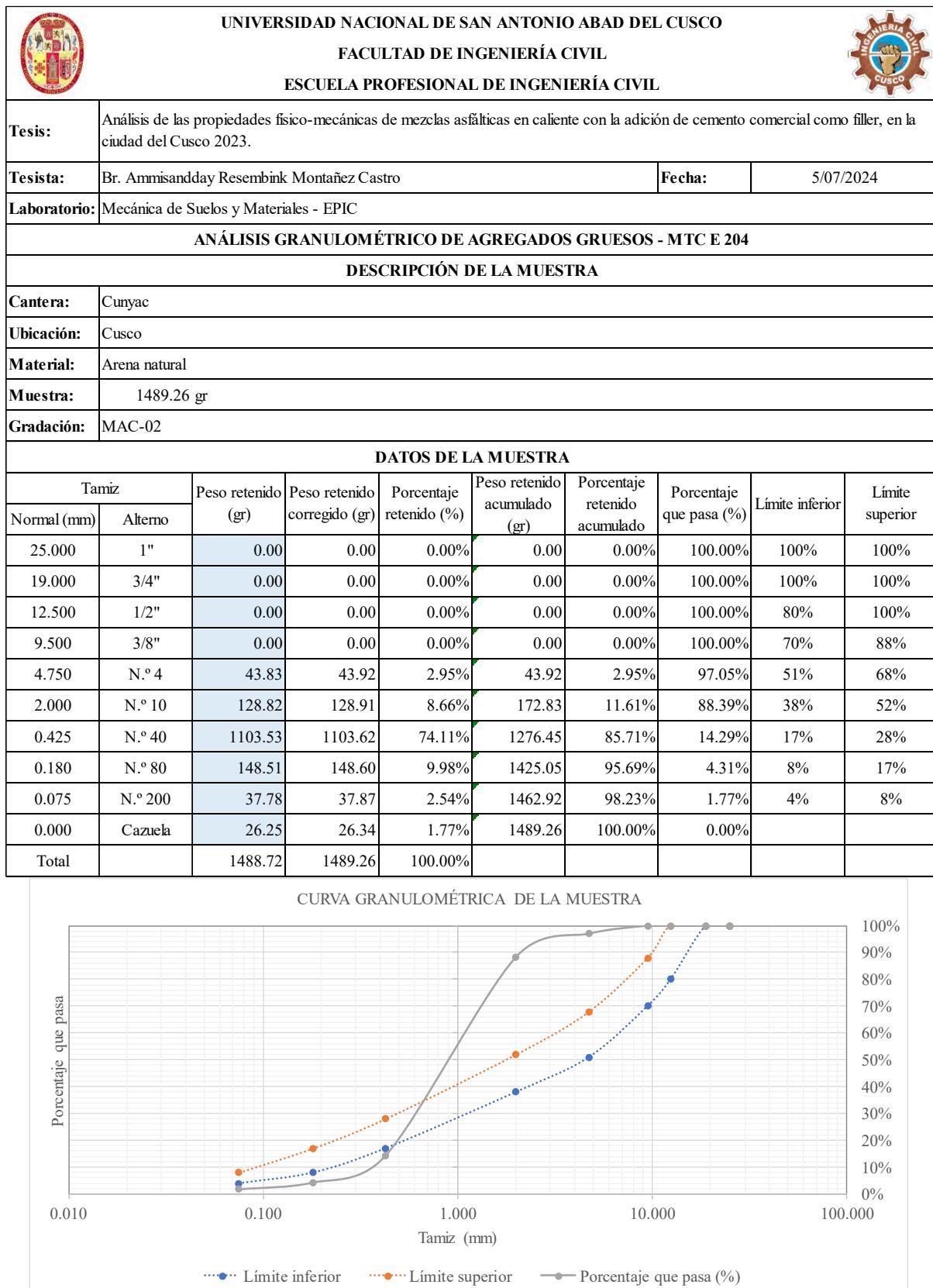
Nota. Elaboración propia.

Figura 63: Análisis granulométrico agregado fino arena triturada.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																		
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																	
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro					Fecha:	19/06/2024											
Laboratorio:	Mecánica de Suelos y Materiales - EPIC																	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS - MTC E 204																		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																		
Cantera:	Morro Blanco																	
Ubicación:	Calca San Salvador																	
Material:	Arena triturada																	
Muestra:	1501.02 gr																	
Gradación:	MAC-02																	
DATOS DE LA MUESTRA																		
Tamiz		Peso retenido	Peso retenido	Porcentaje	Peso retenido	Porcentaje	Porcentaje											
Normal (mm)	Alterno	(gr)	corregido (gr)	retenido (%)	acumulado (gr)	retenido acumulado	que pasa (%)	Límite inferior	Límite superior									
25.000	1"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%									
19.000	3/4"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	100%	100%									
12.500	1/2"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	80%	100%									
9.500	3/8"	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%	70%	88%									
4.750	N.º 4	67.02	67.33	4.49%	67.33	4.49%	95.51%	51%	68%									
2.000	N.º 10	448.49	448.80	29.90%	516.13	34.39%	65.61%	38%	52%									
0.425	N.º 40	458.37	458.68	30.56%	974.81	64.94%	35.06%	17%	28%									
0.180	N.º 80	247.51	247.82	16.51%	1222.63	81.45%	18.55%	8%	17%									
0.075	N.º 200	150.13	150.44	10.02%	1373.07	91.48%	8.52%	4%	8%									
0.000	Cazuela	127.64	127.95	8.52%	1501.02	100.00%	0.00%											
Total		1499.16	1501.02	100.00%														
CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA																		
...●... Límite inferior ...●... Límite superior —●— Porcentaje que pasa (%)																		

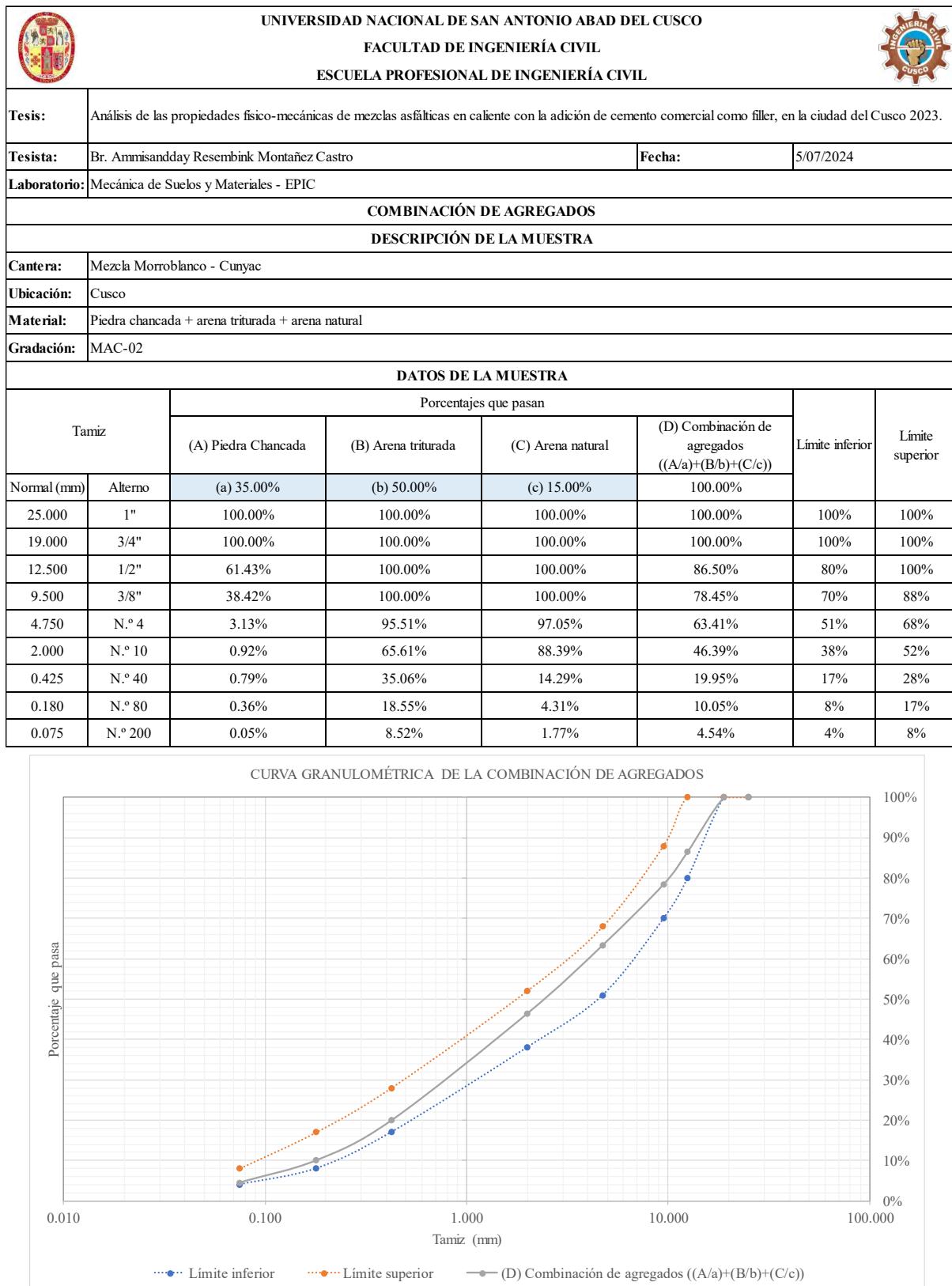
Nota. Elaboración propia.

Figura 64: Análisis granulométrico agregado fino arena natural.



Nota. Elaboración propia.

Figura 65: Combinación de agregados piedra chancada, arena triturada y arena natural.



Nota. Elaboración propia.

Anexo N°08: Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas asfálticas en caliente

Figura 66: Pesos para la preparación de briquetas de MAC.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.															
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro				Fecha:	5/07/2024										
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.															
BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA																
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac															
Ubicación:	Cusco															
Material:	Agregado fino y grueso															
Muestra:	1200.00 gr															
DATOS DE LA MUESTRA																
(A) Peso aproximado por briqueta [gr]	1200.00															
(B) % De asfalto [%]	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%									
(C) % De agregados (100%-B) [%]	96.00%	95.50%	95.00%	94.50%	94.00%	93.50%	93.00%									
(D) Cantidad de briquetas [und]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00									
(E) Peso total del agregado (A*C) [gr]	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00	1122.00	1116.00									
Tamiz	(F) Retenido [%]	(G) Peso retenido (E*F) [gr]														
1/2"	13.50%	155.51	154.70	153.89	153.08	152.27	151.46									
3/8"	8.05%	92.79	92.31	91.82	91.34	90.86	90.37									
N° 4	15.04%	173.23	172.32	171.42	170.52	169.62	168.71									
N° 10	17.02%	196.09	195.07	194.05	193.03	192.00	190.98									
N° 40	26.44%	304.57	302.99	301.40	299.82	298.23	296.64									
N° 80	9.90%	114.08	113.49	112.90	112.30	111.71	111.11									
N° 200	5.50%	63.37	63.04	62.71	62.38	62.05	61.72									
% Filler natural	4.54%	52.35	52.08	51.81	51.53	51.26	50.99									
Total	100.00%	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00	1122.00									
(H) Peso de cemento asfáltico (A*B) [gr]		48.00	54.00	60.00	66.00	72.00	78.00									
(I) Peso total de la briqueta (E+H) [gr]		1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00									

Nota. Elaboración propia.

Figura 67: Medición de los especímenes MAC.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																											
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																											
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																											
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																										
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro							Fecha:	5/08/2024																		
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																										
ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO - MTC E 507																											
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																											
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																										
Ubicación:	Cusco																										
Material:	Agregado fino y grueso																										
Muestra:	Especímenes compactados																										
DATOS DE LA MUESTRA																											
Espécimen	Altura [mm]					Diámetro [mm]					(C) Área (B ² *π/4) [mm ²]	(D) Volumen (C*A) [cm ³]															
	h1	h2	h3	h4	(A) h _{media}	D1	D2	D3	D4	(B) D _{media}																	
4.00% Asfato																											
B1	65.0	64.9	64.9	65.0	65.0	102.0	101.9	102.0	102.0	102.0	8171.3																
B2	64.5	64.9	65.0	64.5	64.7	102.4	101.9	102.0	101.9	102.1	8187.3																
B3	64.9	64.5	63.3	66.5	64.8	101.9	102.1	101.9	101.9	102.0	8171.3																
4.50% Asfato																											
B4	63.9	64.3	64.2	63.9	64.1	102.1	101.9	102.1	101.9	102.0	8171.3																
B5	64.5	63.1	63.1	65.1	64.0	101.9	102.0	102.1	101.9	102.0	8171.3																
B6	63.2	64.3	63.8	64.2	63.9	101.9	101.9	102.0	101.9	101.9	8155.3																
5.00% Asfato																											
B7	63.5	64.2	64.0	63.5	63.8	102.0	101.9	101.9	102.0	102.0	8171.3																
B8	63.6	63.8	64.0	63.4	63.7	101.8	101.9	101.8	102.0	101.9	8155.3																
B9	63.2	64.5	63.7	63.8	63.8	101.9	102.0	101.9	102.0	102.0	8171.3																
5.50% Asfato																											
B10	64.0	62.5	63.6	63.0	63.3	101.9	101.9	101.9	101.8	101.9	8155.3																
B11	62.6	63.0	62.5	62.9	62.8	101.9	101.9	101.9	102.0	101.9	8155.3																
B12	63.2	63.1	62.6	64.0	63.2	101.9	102.0	102.0	102.0	102.0	8171.3																
6.00% Asfato																											
B13	62.1	62.2	62.3	62.2	62.2	102.0	101.9	102.0	102.1	102.0	8171.3																
B14	62.6	62.0	62.3	62.1	62.3	102.0	101.9	101.9	101.9	101.9	8155.3																
B15	62.1	62.2	62.2	63.0	62.4	101.9	101.9	102.1	101.9	102.0	8171.3																
6.50% Asfato																											
B16	62.7	62.8	62.0	62.7	62.6	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	8155.3																
B17	62.8	62.5	62.8	63.1	62.8	101.9	101.9	102.0	101.9	101.9	8155.3																
B18	62.0	62.9	62.9	62.0	62.5	101.9	101.9	101.9	102.0	101.9	8155.3																
7.00% Asfato																											
B19	62.6	62.8	62.1	62.6	62.5	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	8155.3																
B20	62.8	62.5	62.7	63.1	62.8	101.9	102.0	101.9	101.9	101.9	8155.3																
B21	62.1	62.8	62.9	62.0	62.5	102.0	101.9	101.9	101.9	101.9	8155.3																
											509.70																

Nota. Elaboración propia.

Figura 68: Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																		
Tesis:	Análisis de las propiedades fisico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																	
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro							Fecha:	5/08/2024									
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																	
PESO ESPECÍFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA - MTC E 514																		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																		
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																	
Ubicación:	Cusco																	
Material:	Agregado fino y grueso																	
Muestra:	Especímenes compactados																	
DATOS DE LA MUESTRA																		
% De asfalto	Espécimen	(A) Peso seco en aire [gr]	(B) Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca [gr]	(C) Peso del espécimen en el agua [gr]	(D) Porcentaje de agua absorbida (B-A/B-C) [%]	(D) Norma a utilizar	(E) Gmb Peso específico aparente o Bulk a 25°C (A/B-C)	(F) Promedio Peso específico aparenteo bulk a 25°C Gmb	(G) Peso unitario (E*0,9970) [gr/cm³]	(H) Promedio Peso unitario [gr/cm³]								
4.00%	B1	1192.20	1193.20	677.80	0.19%	MTC E 514	2.313	2.313	2.3062	2.3063								
	B2	1192.80	1194.20	678.20	0.27%	MTC E 514	2.312		2.3047									
	B3	1192.50	1193.50	678.40	0.19%	MTC E 514	2.315		2.3081									
4.50%	B4	1191.70	1193.30	680.80	0.31%	MTC E 514	2.325	2.326	2.3183	2.3186								
	B5	1194.10	1195.50	681.90	0.27%	MTC E 514	2.325		2.3180									
	B6	1189.30	1190.60	679.40	0.25%	MTC E 514	2.326		2.3195									
5.00%	B7	1190.30	1191.90	683.10	0.31%	MTC E 514	2.339	2.340	2.3324	2.3327								
	B8	1191.80	1193.30	684.20	0.29%	MTC E 514	2.341		2.3340									
	B9	1189.90	1190.90	682.10	0.20%	MTC E 514	2.339		2.3316									
5.50%	B10	1191.20	1193.30	686.80	0.41%	MTC E 514	2.352	2.353	2.3448	2.3456								
	B11	1190.20	1190.80	685.10	0.12%	MTC E 514	2.354		2.3465									
	B12	1185.90	1187.00	682.90	0.22%	MTC E 514	2.353		2.3455									
6.00%	B13	1187.20	1187.60	684.30	0.08%	MTC E 514	2.359	2.358	2.3518	2.3508								
	B14	1191.10	1191.70	686.60	0.12%	MTC E 514	2.358		2.3511									
	B15	1194.80	1195.40	688.40	0.12%	MTC E 514	2.357		2.3495									
6.50%	B16	1191.50	1192.20	688.20	0.14%	MTC E 514	2.364	2.365	2.3570	2.3580								
	B17	1193.00	1193.50	689.10	0.10%	MTC E 514	2.365		2.3581									
	B18	1193.70	1194.20	689.70	0.10%	MTC E 514	2.366		2.3590									
7.00%	B19	1192.60	1193.20	688.40	0.12%	MTC E 514	2.363	2.363	2.3554	2.3558								
	B20	1193.60	1193.90	688.60	0.06%	MTC E 514	2.362		2.3551									
	B21	1192.70	1194.70	690.20	0.40%	MTC E 514	2.364		2.3570									

Nota. Elaboración propia.

Figura 69: Determinación de la gravedad teórica máxima de los especímenes MAC.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																			
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como <u>filler</u> , en la ciudad del Cusco 2023.																		
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro				Fecha:	15/08/2024													
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																		
PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS - MTC E 508																			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																			
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																		
Ubicación:	Cusco																		
Material:	Agregado fino y grueso																		
Muestra:	1500.00 gr Mín.																		
DATOS DE LA MUESTRA																			
% De asfalto	Espécimen	(A) Masa de la muestra seca al aire [gr]	(B) Masa del picnómetro sumergido [gr]	(C) Masa del picnómetro y muestra sumergidos [gr]	(D) Gmm Gravedad específica teórica máxima (A/(A-C+B))	(E) Gmm Gravedad específica teórica máxima	(F) Densidad teórica máxima (D*0,9970) [gr/cm³]	(G) Promedio Densidad teórica máxima [gr/cm³]											
4.00%	B1	1528.50	3125.48	4035.06	2.470	2.469	2.4622	2.4611											
	B2	1523.48	3125.48	4030.85	2.465		2.4573												
	B3	1527.54	3125.48	4034.89	2.471		2.4638												
4.50%	B4	1522.50	3125.48	4030.45	2.465	2.465	2.4581	2.4579											
	B5	1528.64	3125.48	4033.58	2.463		2.4560												
	B6	1532.58	3125.48	4036.85	2.467		2.4597												
5.00%	B7	1524.87	3125.48	4030.90	2.462	2.462	2.4543	2.4549											
	B8	1534.80	3125.48	4037.21	2.463		2.4559												
	B9	1526.98	3125.48	4032.20	2.462		2.4545												
5.50%	B10	1525.67	3125.48	4029.90	2.456	2.456	2.4484	2.4486											
	B11	1529.45	3125.48	4032.58	2.458		2.4502												
	B12	1531.80	3125.48	4033.20	2.454		2.4471												
6.00%	B13	1525.41	3125.48	4027.22	2.446	2.446	2.4385	2.4388											
	B14	1539.54	3125.48	4035.84	2.447		2.4396												
	B15	1528.96	3125.48	4029.24	2.446		2.4382												
6.50%	B16	1533.67	3125.48	4029.50	2.436	2.436	2.4284	2.4290											
	B17	1524.89	3125.48	4023.58	2.433		2.4256												
	B18	1534.56	3125.48	4031.21	2.440		2.4330												
7.00%	B19	1547.02	3125.48	4033.00	2.419	2.419	2.4119	2.4117											
	B20	1539.45	3125.48	4027.89	2.417		2.4093												
	B21	1543.59	3125.48	4031.50	2.421		2.4138												

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°09: Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento como filler

Figura 70: esos para la preparación de briquetas de MAC adicionando cemento comercial como filler.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																	
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:		25/08/2024													
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																
BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA																	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																	
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																
Ubicación:	Cusco																
Material:	Agregado fino y grueso																
Muestra:	Mezcla agregado fino y grueso																
DATOS DE LA MUESTRA																	
(A) Peso aproximado por briqueta [gr]	1200.00																
(B) % De asfalto [%]	6.20%																
(C) % De agregados (100%-B) [%]	93.80%	93.80%	93.80%	93.80%	93.80%												
(D) % De cemento adicionado como filler (C/R Agregados) [%]	0.00%	1.00%	2.00%	4.00%	8.00%												
(E) Cantidad de briquetas [und]	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00												
(F) Peso total del agregado [gr]	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60												
Tamiz	(G) Retenido [%]	(H) Peso retenido (F*G) [gr]															
1/2"	13.50%	151.95	151.95	151.95	151.95	151.95											
3/8"	8.05%	90.66	90.66	90.66	90.66	90.66											
N° 4	15.04%	169.26	169.26	169.26	169.26	169.26											
N° 10	17.02%	191.60	191.60	191.60	191.60	191.60											
N° 40	26.44%	297.59	297.59	297.59	297.59	297.59											
N° 80	9.90%	111.47	111.47	111.47	111.47	111.47											
N° 200	5.50%	61.92	61.92	61.92	61.92	61.92											
% Filler natural	4.54%	51.15	51.15	51.15	51.15	51.15											
Total	100.00%	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60	1125.60											
(I) Peso de cemento asfáltico (A*B) [gr]	74.40	74.40	74.40	74.40	74.40	74.40											
(J) Peso de cemento adicionado como filler (A*C*D) [gr]	0.00	11.26	22.51	45.02	90.05												
(K) Peso total de la briqueta (F+I+J) [gr]	1200.00	1211.26	1222.51	1245.02	1290.05												

Nota. Elaboración propia.

Figura 71: Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																									
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																								
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro							Fecha:	25/08/2024																
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																								
ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO - MTC E 507																									
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																									
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																								
Ubicación:	Cusco																								
Material:	Agregado fino, grueso, asfalto y cemento																								
Muestra:	Especímenes compactados																								
Asfalto:	6.20 % Contenido óptimo																								
DATOS DE LA MUESTRA																									
Espécimen	Altura [mm]					Diámetro [mm]				(C) Área (B²*π/4) [mm²]	(D) Volumen (C*A) [cm³]														
	h1	h2	h3	h4	(A) h_{media}	D1	D2	D3	D4																
0.00% Cemento adicionado																									
B1	62.4	62.6	62.7	62.3	62.5	102.0	101.7	101.6	102.2	101.9	8155.3														
B2	61.5	62.4	60.8	63.5	62.1	102.2	101.9	101.8	101.8	101.9	8155.3														
B3	62.0	62.5	61.8	62.9	62.3	102.1	101.8	101.7	102.0	101.9	8155.3														
1.00% Cemento adicionado																									
B4	62.4	63.5	63.3	62.5	62.9	102.0	102.0	102.3	102.5	102.2	8203.4														
B5	62.3	63.0	62.3	62.1	62.4	101.9	101.8	101.8	101.7	101.8	8139.3														
B6	62.4	63.3	62.8	62.3	62.7	102.0	101.9	102.1	102.1	102.0	8171.3														
2.00% Cemento adicionado																									
B7	62.0	62.5	61.2	61.0	61.7	101.8	101.9	101.9	101.8	101.9	8155.3														
B8	63.7	63.2	62.3	62.2	62.9	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	8155.3														
B9	62.9	62.9	61.8	61.6	62.3	101.9	101.9	101.9	101.9	101.9	8155.3														
4.00% Cemento adicionado																									
B10	66.2	65.6	66.9	67.1	66.5	101.9	101.9	102.0	102.0	102.0	8171.3														
B11	62.7	63.8	62.7	63.6	63.2	102.1	101.7	101.7	102.0	101.9	8155.3														
B12	64.5	64.7	64.8	65.4	64.9	102.0	101.8	101.9	102.0	101.9	8155.3														
8.00% Cemento adicionado																									
B13	62.7	62.9	63.2	62.9	62.9	101.8	101.7	101.9	102.0	101.9	8155.3														
B14	65.1	65.4	66.4	66.0	65.7	101.8	101.9	101.9	101.8	101.9	8155.3														
B15	63.9	64.2	64.8	64.5	64.4	101.8	101.8	101.9	101.9	101.9	8155.3														

Nota. Elaboración propia.

Figura 72: Determinación del peso específico bulk de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																		
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																		
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																	
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro							Fecha:	25/08/2024									
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																	
PESO ESPECÍFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA - MTC E 514																		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																		
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																	
Ubicación:	Cusco																	
Material:	Agregado fino, grueso, asfalto y cemento																	
Muestra:	Especímenes compactados																	
Asfalto:	6.20 % Contenido óptimo																	
DATOS DE LA MUESTRA																		
% De Cemento adiconado	Espécimen	(A) Peso seco en aire [gr]	(B) Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca [gr]	(C) Peso del espécimen en el agua [gr]	(D) Porcentaje de agua absorbida (B-A/B-C) [%]	(D) Norma a utilizar	(E) Gmb Peso específico aparente o Bulk a 25°C (A/B-C)	(F) Promedio Peso específico aparenteo bulk a 25°C Gmb	(G) Peso unitario (E*0,9970) [gr/cm³]	(H) Promedio Peso unitario [gr/cm³]								
0.00%	B1	1198.50	1199.20	691.40	0.14%	MTC E 514	2.360	2.362	2.3531	2.3545								
	B2	1187.20	1187.80	685.50	0.12%	MTC E 514	2.364		2.3564									
	B3	1192.50	1193.60	688.50	0.22%	MTC E 514	2.361		2.3538									
1.00%	B4	1210.10	1211.00	703.30	0.18%	MTC E 514	2.383	2.381	2.3763	2.3736								
	B5	1211.40	1212.20	702.20	0.16%	MTC E 514	2.375		2.3682									
	B6	1214.60	1216.50	706.90	0.37%	MTC E 514	2.383		2.3763									
2.00%	B7	1215.60	1217.00	709.30	0.28%	MTC E 514	2.394	2.393	2.3871	2.3855								
	B8	1221.10	1223.30	713.00	0.43%	MTC E 514	2.393		2.3857									
	B9	1232.89	1234.60	718.90	0.33%	MTC E 514	2.391		2.3835									
4.00%	B10	1240.10	1241.60	727.50	0.29%	MTC E 514	2.412	2.404	2.4049	2.3967								
	B11	1242.10	1243.50	725.30	0.27%	MTC E 514	2.397		2.3898									
	B12	1236.10	1237.60	723.10	0.29%	MTC E 514	2.403		2.3953									
8.00%	B13	1287.50	1288.30	747.70	0.15%	MTC E 514	2.382	2.379	2.3745	2.3716								
	B14	1276.00	1276.90	740.40	0.17%	MTC E 514	2.378		2.3712									
	B15	1286.80	1287.60	746.10	0.15%	MTC E 514	2.376		2.3692									

Nota. Elaboración propia.

Figura 73: Determinación de la gravedad teórica máxima de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.															
Tesista:	Br. Ammisandday Resembirk Montañez Castro						Fecha:	25/08/2024								
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.															
PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS - MTC E 508																
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac															
Ubicación:	Cusco															
Material:	Agregado fino, grueso, asfalto y cemento															
Muestra:	1500.00 gr Min.															
Asfalto:	6.20 % Contenido óptimo															
DATOS DE LA MUESTRA																
% De cemento adicionado	Espécimen	(A) Masa de la muestra seca al aire [gr]	(B) Masa del picnómetro sumergido [gr]	(C) Masa del picnómetro y muestra sumergidos [gr]	(D) Gmm Gravedad específica teórica máxima (A/(A-C+B))	(E) Gmm Gravedad específica teórica máxima	(F) Densidad teórica máxima (D*0,9970) [gr/cm³]	(G) Promedio Densidad teórica máxima [gr/cm³]								
0.00%	B1	1506.80	3125.48	4015.10	2.441	2.441	2.4341	2.4337								
	B2	1513.50	3125.48	4019.30	2.442		2.4351									
	B3	1502.60	3125.48	4012.10	2.439		2.4320									
1.00%	B4	1518.70	3125.48	4023.00	2.445	2.443	2.4375	2.4355								
	B5	1523.50	3125.48	4025.50	2.444		2.4362									
	B6	1522.80	3125.48	4024.20	2.440		2.4328									
2.00%	B7	1529.60	3125.48	4029.50	2.445	2.447	2.4378	2.4396								
	B8	1527.90	3125.48	4028.90	2.447		2.4393									
	B9	1532.80	3125.48	4032.40	2.449		2.4417									
4.00%	B10	1583.60	3125.48	4063.60	2.453	2.452	2.4460	2.4447								
	B11	1572.90	3125.48	4056.10	2.449		2.4416									
	B12	1578.50	3125.48	4060.70	2.454		2.4465									
8.00%	B13	1620.80	3125.48	4087.10	2.459	2.458	2.4514	2.4503								
	B14	1624.50	3125.48	4088.60	2.456		2.4489									
	B15	1634.60	3125.48	4095.10	2.458		2.4507									

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°10: Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la tensión indirecta en MAC

Figura 74: Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler para el ensayo de resistencia a la tensión indirecta pre acondicionamiento.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																																
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																
Tesis:	Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																															
Tesista:	Br. Amnisandday Resembink Montañez Castro				Fecha: 5/09/2024																											
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																															
ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO - MTC E 507																																
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																																
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																															
Ubicación:	Cusco																															
Material:	Agregado fino, grueso, asfalto y cemento																															
Muestra:	Especímenes compactados para ensayo TSR pre acondicionamiento																															
Asfalto:	6.20 % Contenido óptimo																															
DATOS DE LA MUESTRA																																
Espécimen	Altura [mm]					Diámetro [mm]					(C) Área (B ² *π/4) [mm ²]	(D) Volumen (C*A) [cm ³]																				
	h1	h2	h3	h4	(A) h _{media}	D1	D2	D3	D4	(B) D _{media}																						
0.00%	Cemento adicionado																															
Acondicionado al inicio	B1	63.0	64.2	63.3	62.0	63.1	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	513.59																				
	B2	64.2	64.0	62.4	62.7	63.3	101.8	101.7	101.8	101.7	8139.3	515.22																				
	B3	63.1	64.1	63.2	62.3	63.2	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	514.40																				
No acondicionado	B4	63.3	63.4	62.2	62.0	62.7	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	510.33																				
	B5	62.0	62.0	62.5	62.8	62.3	101.8	101.6	101.8	101.8	8139.3	507.08																				
	B6	62.1	62.8	62.3	62.8	62.5	101.8	101.8	101.8	101.7	8139.3	508.70																				
1.00%	Cemento adicionado																															
Acondicionado al inicio	B7	63.5	62.4	61.9	62.8	62.7	101.8	101.7	101.8	101.7	8139.3	510.33																				
	B8	63.4	64.1	64.0	63.1	63.7	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	518.47																				
	B9	63.3	63.4	63.2	63.1	63.3	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	515.22																				
No acondicionado	B10	62.3	64.0	63.8	62.2	63.1	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	513.59																				
	B11	64.5	65.4	64.3	63.6	64.5	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	524.98																				
	B12	63.4	64.7	64.1	62.9	63.8	101.8	101.6	101.8	101.8	8139.3	519.29																				
2.00%	Cemento adicionado																															
Acondicionado al inicio	B13	62.7	63.4	62.9	62.7	62.9	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	511.96																				
	B14	62.3	63.5	64.1	63.3	63.3	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	515.22																				
	B15	62.4	63.5	63.5	63.1	63.1	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	513.59																				
No acondicionado	B16	64.2	63.4	62.7	63.6	63.5	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	516.85																				
	B17	63.6	64.1	63.4	63.2	63.6	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	517.66																				
	B18	63.8	63.6	63.1	63.4	63.5	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	516.84																				
4.00%	Cemento adicionado																															
Acondicionado al inicio	B19	62.1	64.4	63.1	61.7	62.8	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	511.15																				
	B20	63.6	63.9	63.0	62.9	63.4	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	516.03																				
	B21	62.8	64.2	63.0	61.8	63.0	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	512.77																				
No acondicionado	B22	63.3	62.7	63.6	63.8	63.4	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	516.03																				
	B23	64.0	62.9	62.4	63.6	63.2	101.7	101.8	101.8	101.8	8139.3	514.40																				
	B24	63.6	62.8	63.0	63.7	63.3	101.8	101.8	101.6	101.8	8139.3	515.22																				
8.00%	Cemento adicionado																															
Acondicionado al inicio	B25	65.9	66.2	67.2	66.7	66.5	101.8	101.8	101.8	101.8	8139.3	541.26																				
	B26	68.3	68.2	65.7	66.2	67.1	101.8	101.6	101.6	101.8	8123.3	545.07																				
	B27	67.1	67.6	66.6	66.4	66.9	101.8	101.8	101.8	101.8	8139.3	544.52																				
No acondicionado	B28	65.9	66.5	66.0	65.6	66.0	101.8	101.8	101.8	101.8	8139.3	537.19																				
	B29	65.9	65.6	66.1	66.7	66.1	101.8	101.6	101.6	101.8	8123.3	536.95																				
	B30	65.8	65.5	66.0	66.6	66.0	101.8	101.8	101.8	101.8	8139.3	537.19																				

Nota. Elaboración propia.

Figura 75: Medición de los especímenes MAC adicionando cemento comercial como filler para el ensayo de resistencia a la tensión indirecta post acondicionamiento.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																								
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																								
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																							
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro											Fecha: 5/09/2025												
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																							
ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO - MTC E 507																								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																								
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																							
Ubicación:	Cusco																							
Material:	Agregado fino, grueso, asfalto y cemento																							
Muestra:	Especímenes compactados para ensayo TSR post acondicionamiento																							
Asfalto:	6.20 % Contenido óptimo																							
DATOS DE LA MUESTRA																								
Espécimen	Altura [mm]					Diámetro [mm]					(C) Área (B ² *π/4) [mm ²]	(D) Volumen (C*A) [cm ³]												
	h1	h2	h3	h4	(A) h _{media}	D1	D2	D3	D4	(B) D _{media}														
0.00%	Cemento adicionado																							
Acondicionado al final	B1	62.0	63.3	63.4	62.0	62.7	101.6	101.9	101.9	102.0	101.9	8155.3 511.34												
	B2	63.0	62.0	62.5	62.2	62.4	102.2	101.9	101.8	102.0	102.0	8171.3 509.89												
	B3	62.3	62.5	62.7	62.0	62.4	101.9	101.9	102.0	101.9	101.9	8155.3 508.89												
1.00%	Cemento adicionado																							
Acondicionado al final	B7	63.1	62.4	63.9	62.5	63.0	102.0	102.0	102.1	101.9	102.0	8171.3 514.79												
	B8	63.4	63.5	63.0	63.1	63.3	101.9	101.8	102.0	101.9	101.9	8155.3 516.23												
	B9	63.3	63.1	63.2	63.1	63.2	102.1	101.9	101.9	102.0	102.0	8171.3 516.43												
2.00%	Cemento adicionado																							
Acondicionado al final	B13	63.2	63.8	63.7	62.9	63.4	101.9	101.9	101.9	102.0	101.9	8155.3 517.05												
	B14	62.4	63.5	64.3	63.3	63.4	101.8	101.9	101.7	101.8	101.8	8139.3 516.03												
	B15	62.3	63.5	63.5	63.1	63.1	101.9	102.1	101.9	102.1	102.0	8171.3 515.61												
4.00%	Cemento adicionado																							
Acondicionado al final	B19	63.1	64.4	63.9	62.7	63.5	101.9	101.9	101.7	101.8	101.8	8139.3 516.85												
	B20	63.6	63.9	63.7	63.2	63.6	101.9	101.9	102.0	102.1	102.0	8171.3 519.69												
	B21	62.8	64.3	63.5	63.1	63.4	102.1	101.9	101.9	102.0	102.0	8171.3 518.06												
8.00%	Cemento adicionado																							
Acondicionado al final	B25	66.5	65.9	66.0	66.0	66.1	101.9	102.0	102.0	102.1	102.0	8171.3 540.12												
	B26	66.5	65.9	66.2	65.7	66.1	101.9	101.9	101.9	102.0	101.9	8155.3 539.06												
	B27	66.5	65.9	66.0	66.0	66.1	102.0	102.1	101.9	102.0	102.0	8171.3 540.12												

Nota. Elaboración propia.

Figura 76: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC patrón.

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD POR MEDIO DE LA RELACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA - MTC E 522						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	0%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8
(t) Espesor [mm]	63.0	64.2	63.1	63.3	62.0	62.1
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.278	2.281	2.277	2.279	2.278	2.277
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1193.8	1184.5	1190.4	1194.6	1192.8	1183.5
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1194.2	1185.0	1191.3	1195.7	1193.6	1184.6
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	670.2	665.8	668.5	671.5	669.9	664.9
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	524	519.2	522.8	524.2	523.7	519.7
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100) [%]	6.62%	6.50%	6.66%	6.58%	6.62%	6.66%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	34.68	33.724	34.815	34.478	34.66	34.608
Saturación y volumetría de saturación	1	2	3	4	5	6
(B') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1217.7	1208.2	1215.2			
(J') Volumen de agua absorbida (B'-A) [cm ³]	23.9	23.7	24.8			
(S') Grado de saturación (100*J/I) [%]	68.92%	70.28%	71.23%			
(C') Masa del espécimen sumergido [g]	690.3	684.7	688.2			
(E') Volumen (B'-C') [cm ³]	527.4	523.5	527			
(Exp') Grado de expansión (100*(E'-E) / E) [%]	0.65%	0.83%	0.80%			
Volumetría de acondicionamiento	1	2	3	4	5	6
(D'') Diámetro [mm]	101.9	102.0	101.9			
(t'') Espesor [mm]	62.7	62.4	62.4			
(B'') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1218.2	1208.6	1217.3			
(C'') Masa del espécimen sumergido [g]	688.5	680.4	684.5			
(E'') Volumen (B''-C'') [cm ³]	529.7	528.2	532.8			
(J'') Volumen de agua absorbida (B''-A) [cm ³]	24.4	24.1	26.9			
(S'') Grado de saturación (100*J'' / I) [%]	70.36%	71.46%	77.27%			
(Exp'') Grado de expansión (100*(E''-E) / E) [%]	1.09%	1.73%	1.91%			
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	3707.59	3471.83	3553.68			
(P) Carga [N]				4197.78	4517.17	4308.99
(Sta) Resistencia del espécimen acondicionado (2000*P''/πt''D'') [kPa]	369.428	347.26	355.795			
(St) Resistencia del espécimen no acondicionado (2000*P/πtD) [kPa]				414.714	455.624	433.926
Resistencia promedio y TSR						
(St _{prom}) Resistencia promedio del subconjunto no acondicionado [kPa]				434.755		
(St _{prom}) Resistencia promedio del subconjunto acondicionado [kPa]	357.494					
(TSR) Relación de resistencia a la tensión indirecta (St _{prom} /St _{prom} *100) [%]	82.23%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 77: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 1 % cemento comercial como filler.

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD POR MEDIO DE LA RELACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA - MTC E 522						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	1%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8
(t) Espesor [mm]	63.5	63.4	63.3	62.3	64.5	63.4
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.437	2.437	2.437	2.437	2.437	2.437
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.268	2.268	2.27	2.271	2.269	2.268
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1191.9	1205.7	1201.5	1201.8	1199.7	1202.6
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1193.1	1207.3	1198.5	1202.6	1201.1	1203.9
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	667.6	675.8	669.1	673.5	672.3	673.7
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	525.5	531.5	529.4	529.1	528.8	530.2
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	6.95%	6.95%	6.87%	6.83%	6.91%	6.95%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	36.524	36.941	36.361	36.123	36.536	36.851
Saturación y volumetría de saturación	1	2	3	4	5	6
(B') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1218.3	1232.1	1227.9			
(J') Volumen de agua absorbida (B'-A) [cm ³]	26.4	26.4	26.4			
(S') Grado de saturación (100*J'/I) [%]	72.28%	71.47%	72.61%			
(C') Masa del espécimen sumergido [g]	687.1	694.8	692.9			
(E') Volumen (B'-C') [cm ³]	531.2	537.3	535			
(Exp') Grado de expansión (100*(E'-E) / E) [%]	1.08%	1.09%	1.06%			
Volumetría de acondicionamiento	1	2	3	4	5	6
(D'') Diámetro [mm]	102	101.9	102			
(t'') Espesor [mm]	63	63.3	63.2			
(B'') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1219.4	1233.5	1228.9			
(C'') Masa del espécimen sumergido [g]	678.1	686.9	683.9			
(E'') Volumen (B''-C'') [cm ³]	541.3	546.6	545			
(J'') Volumen de agua absorbida (B''-A) [cm ³]	27.5	27.8	27.4			
(S'') Grado de saturación (100*J'' / I) [%]	75.29%	75.26%	75.36%			
(Exp'') Grado de expansión (100*(E''-E) / E) [%]	3.01%	2.84%	2.95%			
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	3563.56	3595.14	3572.46			
(P) Carga [N]				4088.53	4166.65	4207.12
(Sta) Resistencia del espécimen acondicionado (2000*P''/π*D'') [kPa]	353.04	354.829	352.801			
(St) Resistencia del espécimen no acondicionado (2000*P/πtD) [kPa]				410.404	403.979	414.981
Resistencia promedio y TSR						
(St _{prom}) Resistencia promedio del subconjunto no acondicionado [kPa]				409.788		
(St _{a_prom}) Resistencia promedio del subconjunto acondicionado [kPa]	353.557					
(TSR) Relación de resistencia a la tensión indirecta (St _{a_prom} /St _{prom} *100) [%]	86.28%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 78: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 2 % cemento comercial como filler.

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD POR MEDIO DE LA RELACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA - MTC E 522						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	2%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8
(t) Espesor [mm]	62.7	62.3	62.4	64.2	63.6	63.8
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.258	2.259	2.259	2.257	2.258	2.259
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1214.8	1213.7	1211.5	1211	1210.8	1215.8
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1215.8	1214.9	1212.5	1211.7	1211.7	1216.9
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	677.8	677.6	676.1	675.2	675.5	678.7
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	538	537.3	536.4	536.5	536.2	538.2
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	7.22%	7.18%	7.18%	7.26%	7.22%	7.18%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	38.864	38.593	38.528	38.976	38.734	38.657
Saturación y volumetría de saturación	1	2	3	4	5	6
(B') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1244.0	1242.9	1240.7			
(J') Volumen de agua absorbida (B'-A) [cm ³]	29.2	29.2	29.2			
(S') Grado de saturación (100*J'/I) [%]	75.13%	75.66%	75.79%			
(C') Masa del espécimen sumergido [g]	704.5	704.2	703.1			
(E') Volumen (B'-C') [cm ³]	539.5	538.7	537.6			
(Exp') Grado de expansión (100*(E'-E) / E) [%]	0.28%	0.26%	0.22%			
Volumetría de acondicionamiento	1	2	3	4	5	6
(D'') Diámetro [mm]	101.9	101.8	102			
(t'') Espesor [mm]	63.4	63.4	63.1			
(B'') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1244.8	1243.6	1242.3			
(C'') Masa del espécimen sumergido [g]	701.8	701.1	701.5			
(E'') Volumen (B''-C'') [cm ³]	543	542.5	540.8			
(J'') Volumen de agua absorbida (B''-A) [cm ³]	30	29.9	30.8			
(S'') Grado de saturación (100*J'' / I) [%]	77.19%	77.48%	79.94%			
(Exp'') Grado de expansión (100*(E''-E) / E) [%]	0.93%	0.97%	0.82%			
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	3481.87	3536.78	3558.66			
(P) Carga [N]				4070.56	4149.04	3971.37
(Sta) Resistencia del espécimen acondicionado (2000*P''/πtD'') [kPa]	343.107	348.86	351.995			
(St) Resistencia del espécimen no acondicionado (2000*P/πtD) [kPa]				396.508	407.965	389.271
Resistencia promedio y TSR						
(St _{prom}) Resistencia promedio del subconjunto no acondicionado [kPa]				397.915		
(St _{a_prom}) Resistencia promedio del subconjunto acondicionado [kPa]	347.987					
(TSR) Relación de resistencia a la tensión indirecta	87.45%					
(St _{a_prom} /St _{prom} *100) [%]						

Nota. Elaboración propia.

Figura 79: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 4 % cemento comercial como filler.

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD POR MEDIO DE LA RELACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA - MTC E 522						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	4%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8	101.8
(t) Espesor [mm]	62.1	63.6	62.8	63.3	64	63.6
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.429	2.429	2.429	2.429	2.429	2.429
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.248	2.249	2.247	2.247	2.248	2.249
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1187.6	1187.0	1190.5	1184.1	1185.5	1186.3
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1188.9	1188.1	1191.8	1185.0	1186.7	1187.8
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	660.7	660.2	662.1	658.1	659.3	660.3
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	528.2	527.9	529.7	526.9	527.4	527.5
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	7.45%	7.41%	7.49%	7.49%	7.45%	7.41%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	39.341	39.102	39.671	39.461	39.282	39.072
Saturación y volumetría de saturación	1	2	3	4	5	6
(B') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1217.7	1217.1	1220.6			
(J') Volumen de agua absorbida (B'-A) [cm ³]	30.1	30.1	30.1			
(S') Grado de saturación (100*J'/I) [%]	76.51%	76.98%	75.87%			
(C') Masa del espécimen sumergido [g]	689.3	689.1	690.9			
(E') Volumen (B'-C') [cm ³]	528.4	528	529.7			
(Exp') Grado de expansión (100*(E'-E) / E) [%]	0.04%	0.02%	0.00%			
Volumetría de acondicionamiento	1	2	3	4	5	6
(D'') Diámetro [mm]	101.8	102	102			
(t'') Espesor [mm]	63.5	63.6	63.4			
(B'') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1217.6	1217.1	1220.6			
(C'') Masa del espécimen sumergido [g]	683.3	683.1	684.8			
(E'') Volumen (B''-C'') [cm ³]	534.3	534	535.8			
(J'') Volumen de agua absorbida (B''-A) [cm ³]	30	30.1	30.1			
(S'') Grado de saturación (100*J'' / I) [%]	76.26%	76.98%	75.87%			
(Exp'') Grado de expansión (100*(E''-E) / E) [%]	1.15%	1.16%	1.15%			
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	3224.15	3308.14	3260.63			
(P) Carga [N]				3752.26	3871.28	3619.96
(Sta) Resistencia del espécimen acondicionado (2000*P''/π*D'') [kPa]	317.522	324.643	320.99			
(St) Resistencia del espécimen no acondicionado (2000*P/πtD) [kPa]				370.699	378.275	355.942
Resistencia promedio y TSR						
(St _{prom}) Resistencia promedio del subconjunto no acondicionado [kPa]				368.305		
(St _{a_prom}) Resistencia promedio del subconjunto acondicionado [kPa]	321.052					
(TSR) Relación de resistencia a la tensión indirecta	87.17%					
(St _{a_prom} /St _{prom} *100) [%]						

Nota. Elaboración propia.

Figura 80: Relación de resistencia a la tensión indirecta de MAC adicionando 8 % cemento comercial como filler.

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD POR MEDIO DE LA RELACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA - MTC E 522						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	8%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	101.8	101.7	101.8	101.8	101.7	101.8
(t) Espesor [mm]	65.9	68.3	67.1	65.9	65.9	65.8
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.423	2.423	2.423	2.423	2.423	2.423
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.257	2.258	2.259	2.26	2.258	2.257
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1274.7	1272.0	1275.9	1277.3	1281.8	1276.5
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1275.8	1272.9	1277.0	1278.3	1282.5	1277.6
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	710.9	709.5	712.1	713.2	714.9	712.1
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	564.9	563.4	564.9	565.1	567.6	565.5
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	6.86%	6.82%	6.78%	6.74%	6.82%	6.86%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	38.756	38.421	38.29	38.07	38.707	38.797
Saturación y volumetría de saturación	1	2	3	4	5	6
(B') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1305.1	1302.3	1306.3			
(J') Volumen de agua absorbida (B'-A) [cm ³]	30.4	30.3	30.4			
(S') Grado de saturación (100*J'/I) [%]	78.44%	78.86%	79.39%			
(C') Masa del espécimen sumergido [g]	735.6	734.6	736.6			
(E') Volumen (B'-C') [cm ³]	569.5	567.7	569.7			
(Exp') Grado de expansión (100*(E'-E) / E) [%]	0.81%	0.76%	0.85%			
Volumetría de acondicionamiento	1	2	3	4	5	6
(D'') Diámetro [mm]	102.0	101.9	102.0			
(t'') Espesor [mm]	66.1	66.1	66.1			
(B'') Masa del espécimen en condición SSS [g]	1305.2	1302.3	1306.3			
(C'') Masa del espécimen sumergido [g]	738.6	737.1	739.4			
(E'') Volumen (B''-C'') [cm ³]	566.6	565.2	566.9			
(J'') Volumen de agua absorbida (B''-A) [cm ³]	30.5	30.3	30.4			
(S'') Grado de saturación (100*J'' / I) [%]	78.70%	78.86%	79.39%			
(Exp'') Grado de expansión (100*(E''-E) / E) [%]	0.30%	0.32%	0.35%			
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	2809.96	2768.76	2676.60			
(P) Carga [N]				3583.89	3470.90	3541.19
(Sta) Resistencia del espécimen acondicionado (2000*P''/π*D'') [kPa]	265.326	261.692	252.733			
(St) Resistencia del espécimen no acondicionado (2000*P/πtD) [kPa]				340.096	329.698	336.554
Resistencia promedio y TSR						
(St _{prom}) Resistencia promedio del subconjunto no acondicionado [kPa]				335.449		
(St _{a_prom}) Resistencia promedio del subconjunto acondicionado [kPa]	259.917					
(TSR) Relación de resistencia a la tensión indirecta (St _{a_prom} /St _{prom} *100) [%]	77.48%					

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°11: Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión en MAC

Figura 81: Medición de los especímenes MAC patrón y MAC adicionando cemento comercial como filler para el ensayo de resistencia a la compresión.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO																												
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																												
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																												
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.																											
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro					Fecha:			5/09/2025																			
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.																											
ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO - MTC E 507																												
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																												
Cantera:	Mezcla Morro Blanco - Cunyac																											
Ubicación:	Cusco																											
Material:	Agregado fino, grueso, asfalto y cemento																											
Muestra:	Especímenes compactados para ensayo compresión																											
Asfalto:	6.20 % Contenido óptimo																											
DATOS DE LA MUESTRA																												
Espécimen	Altura [mm]					Diámetro [mm]				(C) Área (B ² *π/4) [mm ²]	(D) Volumen (C*A) [cm ³]																	
	h1	h2	h3	h4	(A) h _{media}	D1	D2	D3	D4																			
0.00%	Cemento adicionado																											
Acondicionado	B1	103.0	102.8	102.7	103.3	103.0	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B2	101.3	103.2	101.3	100.9	101.7	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B3	102.3	103.1	102.5	102.1	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
No acondicionado	B4	105.9	105.5	105.8	106.1	105.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B5	101.3	102.5	102.9	101.6	102.1	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B6	103.5	104.2	102.7	105.6	104.0	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
1.00%	Cemento adicionado																											
Acondicionado	B7	102.8	104.6	105.4	103.2	104.0	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B8	102.6	104.2	104.2	102.5	103.4	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B9	102.6	104.4	104.6	102.9	103.6	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
No acondicionado	B10	103.2	104.1	102.3	102.5	103.0	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B11	104.0	105.0	102.0	102.0	103.3	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B12	103.6	104.5	102.1	102.2	103.1	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
2.00%	Cemento adicionado																											
Acondicionado	B13	105.0	104.9	105.5	105.8	105.3	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B14	104.3	105.5	104.6	103.8	104.6	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B15	104.6	105.2	104.9	104.3	104.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
No acondicionado	B16	103.0	103.9	104.0	103.1	103.5	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B17	104.3	105.3	104.2	103.4	104.3	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B18	103.6	104.7	104.0	103.3	103.9	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
4.00%	Cemento adicionado																											
Acondicionado	B19	104.7	104.8	105.0	104.8	104.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B20	106.0	107.1	107.7	106.4	106.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B21	105.5	105.9	106.3	105.3	105.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
No acondicionado	B22	105.4	106.4	106.6	104.9	105.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B23	106.5	105.5	106.7	107.0	106.4	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B24	106.0	106.2	106.6	105.2	106.0	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
8.00%	Cemento adicionado																											
Acondicionado	B25	108.0	108.0	109.1	109.1	108.6	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B26	102.4	110.9	110.0	111.8	108.8	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B27	105.2	109.5	109.6	110.5	108.7	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
No acondicionado	B28	109.3	107.5	107.7	108.2	108.2	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B29	107.6	108.8	109.0	107.6	108.3	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	
	B30	108.4	108.1	108.2	108.0	108.2	102.5	102.5	102.5	102.5	8251.6																	

Nota. Elaboración propia.

Figura 82: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón.

EFFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS - MTC E 518						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	0%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	102.50	102.50	102.50	102.50	102.50	102.50
(t) Espesor [mm]	103.00	103.00	103.00	103.00	103.00	103.00
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.303	2.303	2.303	2.304	2.302	2.302
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1942.1	1932.8	1940.2	2011.9	1942.1	1934.6
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1944.0	1934.5	1942.8	2015.0	1944.3	1936.8
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	1100.8	1095.2	1100.5	1141.8	1100.5	1096.5
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	843.2	839.3	842.3	873.2	843.8	840.3
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	5.58%	5.60%	5.57%	5.55%	5.65%	5.62%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	47.08	46.99	46.96	48.47	47.68	47.25
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	23180	25340	24540			
(P) Carga [N]				29860	31090	30850
(S1) Resistencia a la compresión del espécimen acondicionado [MPa]	2.81	3.07	2.97			
(S2) Resistencia a la compresión del espécimen no acondicionado [MPa]				3.62	3.77	3.74
Resistencia promedio e índice de resistencia retenida						
(S2) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto no acondicionado [MPa]				3.71		
(S1) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto acondicionado [MPa]		2.95				
Índice de resistencia retenida (S1/S2* 100) [%]	79.51%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 83: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 1% cemento comercial como filler.

EFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS - MTC E 518						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	1%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5
(t) Espesor [mm]	104	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.437	2.437	2.437	2.437	2.437	2.437
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.293	2.292	2.292	2.292	2.292	2.292
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	1958.1	1975.2	1965.4	1964.1	1960.2	1972.6
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	1961.5	1977.4	1967.5	1966	1962.6	1976.8
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	1107.6	1115.5	1110.0	1109.2	1107.4	1116.2
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	853.9	861.9	857.5	856.8	855.2	860.6
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	5.92%	5.98%	5.97%	5.95%	5.96%	5.96%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	50.55	51.53	51.15	50.98	50.98	51.30
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	23910	24790	25760			
(P) Carga [N]				29680	28150	28960
(S1) Resistencia a la compresión del espécimen acondicionado [MPa]	2.90	3.00	3.12			
(S2) Resistencia a la compresión del espécimen no acondicionado [MPa]				3.6	3.41	3.51
Resistencia promedio e índice de resistencia retenida						
(S2) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto no acondicionado [MPa]				3.51		
(S1) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto acondicionado [MPa]	3.01					
Índice de resistencia retenida (S1/S2* 100) [%]	85.74%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 84: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 2% cemento comercial como filler.

EFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS - MTC E 518						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	2%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5
(t) Espesor [mm]	105.3	104.6	104.8	103.5	104.3	103.9
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.282	2.282	2.283	2.282	2.282	2.281
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	2000.5	1992.5	1995.6	1972.5	1993.3	1984.6
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	2002.6	1995.4	1998.4	1973.8	1995.3	1986.7
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	1126.1	1122.2	1124.1	1109.4	1121.8	1116.8
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	876.5	873.2	874.3	864.4	873.5	869.9
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	6.22%	6.24%	6.22%	6.24%	6.24%	6.26%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	54.54	54.53	54.35	53.94	54.50	54.47
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	24150	24580	25950			
(P) Carga [N]				28590	27240	30510
(S1) Resistencia a la compresión del espécimen acondicionado [MPa]	2.93	2.98	3.14			
(S2) Resistencia a la compresión del espécimen no acondicionado [MPa]				3.46	3.3	3.7
Resistencia promedio e índice de resistencia retenida						
(S2) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto no acondicionado [MPa]				3.49		
(S1) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto acondicionado [MPa]	3.02					
Índice de resistencia retenida (S1/S2* 100) [%]	86.52%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 85: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 4% cemento comercial como filler.

EFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS - MTC E 518						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	4%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5
(t) Espesor [mm]	104.8	106.8	105.8	105.8	106.4	106
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.429	2.429	2.429	2.429	2.429	2.429
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.272	2.273	2.273	2.273	2.272	2.271
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	2018.3	2027.1	2020.7	2023.8	2012.3	2020.5
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	2020.6	2030.3	2022.6	2026.1	2016.3	2024.7
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	1132.3	1138.4	1133.6	1135.6	1130.6	1135.1
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	888.3	891.9	889	890.5	885.7	889.6
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	6.46%	6.43%	6.42%	6.43%	6.46%	6.49%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	57.35	57.33	57.06	57.29	57.22	57.75
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	23810	24270	22760			
(P) Carga [N]				28310	27460	26980
(S1) Resistencia a la compresión del espécimen acondicionado [MPa]	2.89	2.94	2.76			
(S2) Resistencia a la compresión del espécimen no acondicionado [MPa]				3.43	3.33	3.27
Resistencia promedio e índice de resistencia retenida						
(S2) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto no acondicionado [MPa]				3.34		
(S1) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto acondicionado [MPa]	2.86					
Índice de resistencia retenida (S1/S2* 100) [%]	85.64%					

Nota. Elaboración propia.

Figura 86: Ensayo a la compresión e índice de resistencia retenida de MAC patrón adicionando 8% cemento comercial como filler.

EFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS - MTC E 518						
DATOS DE LA MUESTRA						
Subconjuntos con cemento adicionado al	8%					
	Acondicionado			No acondicionado		
Volumetría original	1	2	3	4	5	6
(D) Diámetro [mm]	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5
(t) Espesor [mm]	108.6	108.8	108.7	108.2	108.3	108.2
(G) Gravedad específica teórica máxima (Gmm)	2.423	2.423	2.423	2.423	2.423	2.423
(F) Gravedad específica bruta (Gmb) (A/E)	2.274	2.275	2.274	2.275	2.275	2.274
(A) Masa del espécimen seca en aire [g]	2066.9	2103.3	2087.4	2093.2	2096.2	2072.6
(B) Masa del espécimen en condición SSS [g]	2070.9	2107.6	2091.7	2095.6	2097.8	2076.1
(C) Masa del espécimen sumergido [g]	1161.8	1183.1	1173.7	1175.6	1176.3	1164.8
(E) Volumen (B-C) [cm ³]	909.1	924.5	918	920	921.5	911.3
(H) Vacíos de aire (G-F/G) *100 [%]	6.18%	6.12%	6.17%	6.11%	6.13%	6.15%
(I) Volumen de vacíos de aire (H*E/100) [cm ³]	56.16	56.53	56.60	56.20	56.46	56.00
Cálculos de resistencia	1	2	3	4	5	6
(P'') Carga [N]	17400	18430	16840			
(P) Carga [N]				25900	24050	23150
(S1) Resistencia a la compresión del espécimen acondicionado [MPa]	2.11	2.23	2.04			
(S2) Resistencia a la compresión del espécimen no acondicionado [MPa]				3.14	2.91	2.81
Resistencia promedio e índice de resistencia retenida						
(S2) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto no acondicionado [MPa]				2.95		
(S1) Resistencia a la compresión promedio del subconjunto acondicionado [MPa]	2.13					
Índice de resistencia retenida (S1/S2* 100) [%]	72.01%					

Nota. Elaboración propia.

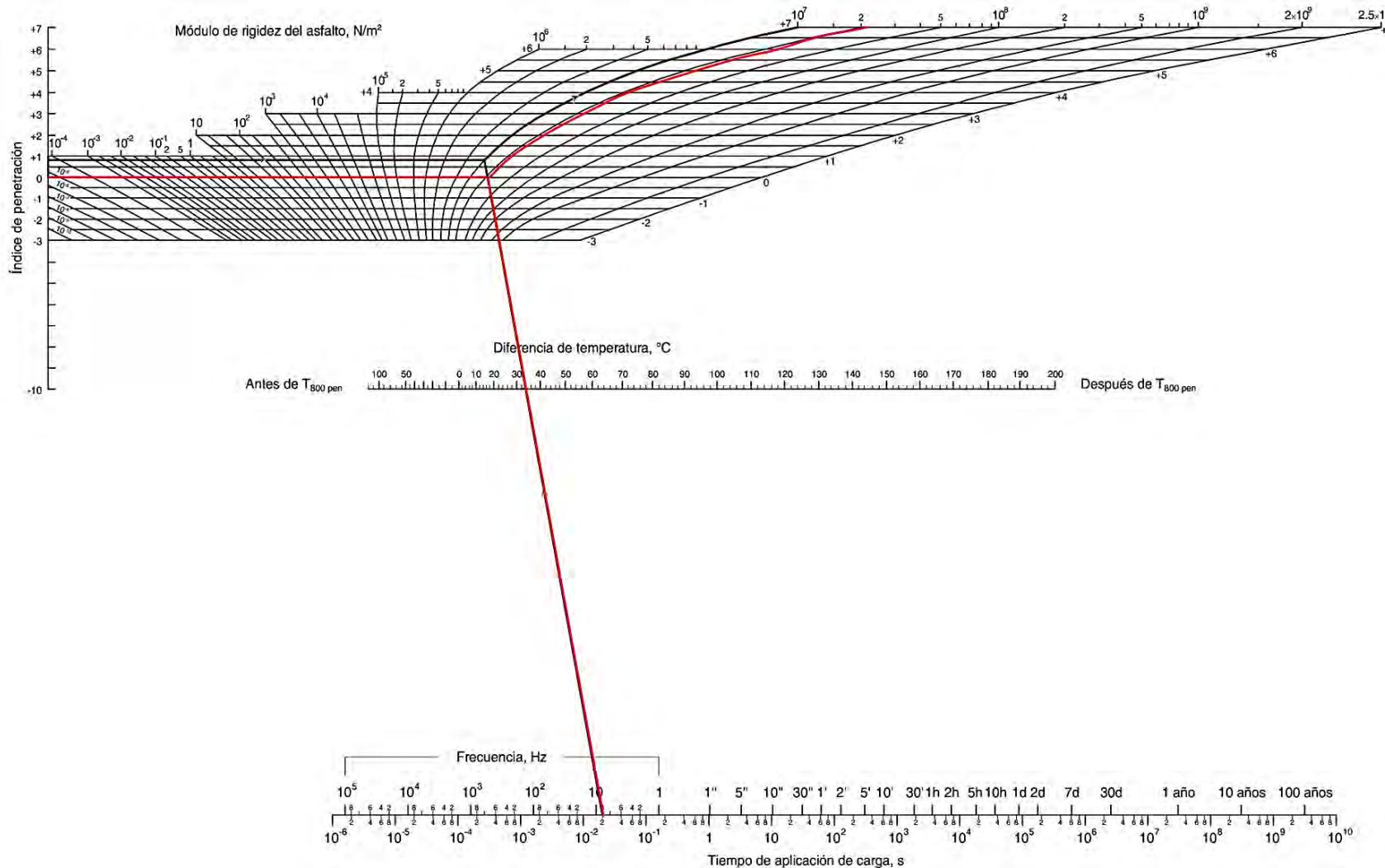
Anexo N°12: Determinación de módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente

Figura 87: Módulo de rigidez del asfalto PEN 85/100, mediante nomogramas de Van der Poel y Shell.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 													
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.												
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	28/11/2024										
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.												
Muestra:	Probetas patrón con 6.20% de asfalto												
MÓDULO DE RIGIDEZ DEL BETÚN - NOMOGRAMAS DE VAN DER POEL													
DATOS DE LA MUESTRA													
	0%	1%	2%	4%	8%								
Características del betún													
(T ₁) Temperatura [°C]	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00								
(PenT ₁) Penetración en T ₁	94.00	94.00	94.00	94.00	94.00								
(T ₂ o T _{800pen}) Temperatura T ₂ o T _{800pen} [°C]	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00								
(PenT ₁ o PenT _{800pen}) Penetración en T ₂ o en T _{800pen}	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00								
(A) Susceptibilidad a la temperatura ((log(PenT ₁)-log(PenT ₂ o PenT _{800pen}))/(T ₁ -(T ₂ o T _{800pen})))	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04								
(PI) Índice de penetración ((20-500A)/(1+50A))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
Condiciones de operación													
(T _{op}) Temperatura de operación T [°C]	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70								
(t) Tiempo de carga [s]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02								
Resultados obtenidos en nomograma de Van der Poel													
(DifT) Diferencia de temperatura ((T ₂ o T _{800pen})-T _{op}) [°C]	33.30	33.30	33.30	33.30	33.30								
(S _b) Modulo de rigidez del betún [N/m ²]	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07								

Nota. Elaboración propia.

Figura 88: Determinación del módulo de rigidez del asfalto PEN 85/100, mediante nomograma de Van der Poel.



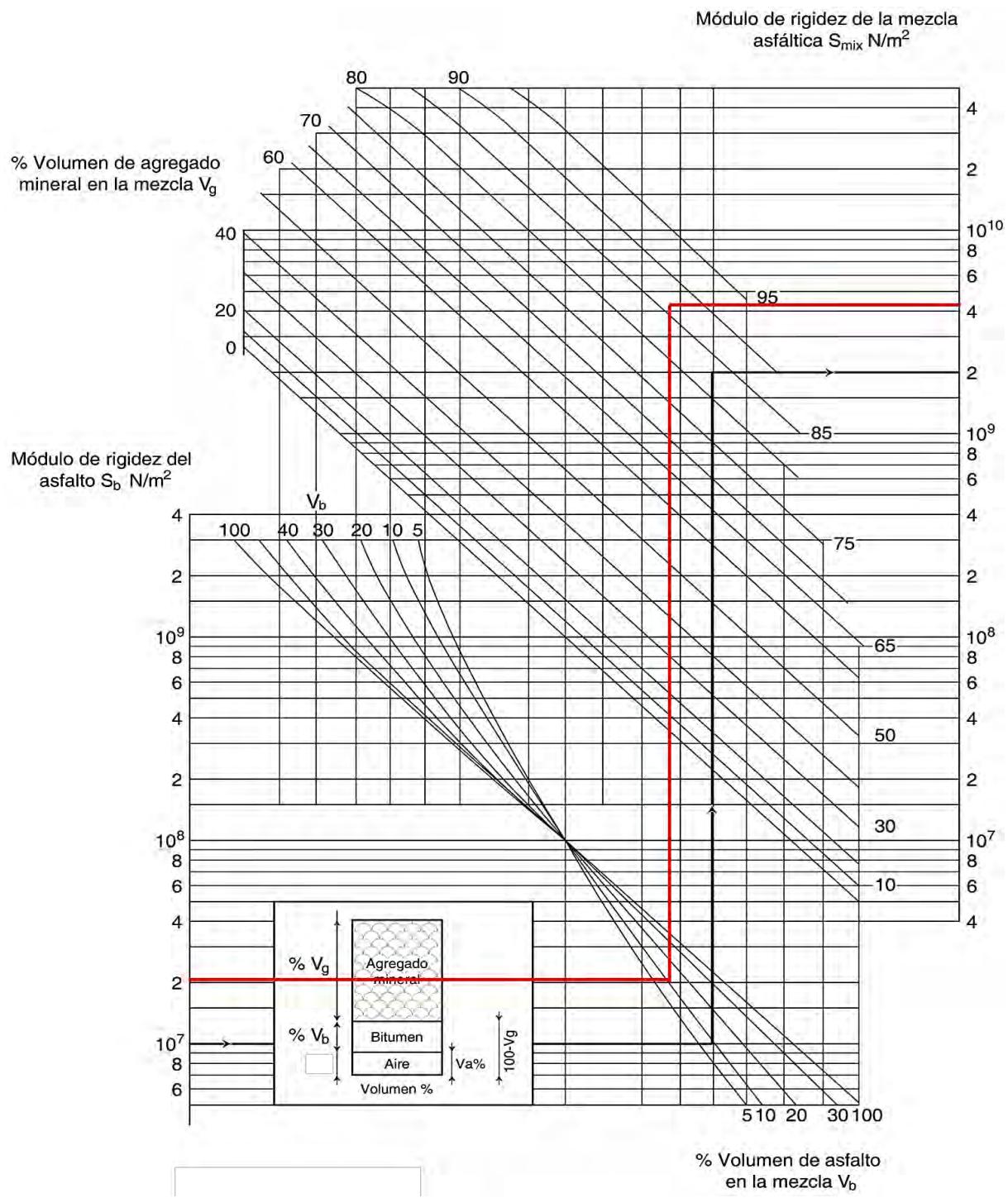
Nota. Elaboración propia.

Figura 89: Módulo de rigidez de la mezcla asfáltica, mediante el nomograma de Shell.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.												
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	28/11/2024										
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.												
Muestra:	Probetas patrón con 6.20% de asfalto												
MÓDULO DE RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFÁLTICA - NOMOGRAMAS DE SHELL													
DATOS DE LA MUESTRA													
	0%	1%	2%	4%	8%								
Características de la mezcla asfáltica													
(Wo) Peso total de la mezcla asfáltica inicial [gr]	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00								
(Pba) Peso de asfalto absorbido [%]	1.22%	1.20%	1.22%	1.19%	1.09%								
(W) Peso total de la mezcla asfáltica descontando peso de asfalto absorbido (Wo(1-Pba)) [gr]	1185.36	1185.6	1185.36	1185.72	1186.92								
(Pbi) Contenido de asfalto inicial [%]	6.20%	6.20%	6.20%	6.20%	6.20%								
(Pb) Contenido de asfalto nuevo (Pbi-Pba)	4.98%	5.00%	4.98%	5.01%	5.11%								
(W _{Pb}) Peso del asfalto (PbW) [gr]	59.03	59.28	59.03	59.40	60.65								
(Wg) Peso del agregado ((1-Pb)W) [gr]	1126.33	1126.32	1126.33	1126.32	1126.27								
(Gg) Gravedad específica del agregado [gr/cm ³]	2.606	2.607	2.608	2.611	2.616								
(Gb) Gravedad específica del asfalto [gr/cm ³]	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017								
(Vg) Volumen del agregado ((1-Pb)W/Gg) [cm ³]	432.21	432.04	431.87	431.37	430.53								
(Vb) Volumen del asfalto (PbW/Gb) [cm ³]	58.04	58.29	58.04	58.41	59.64								
(Gm) Gravedad específica aparente de la mezcla [gr/cm ³]	2.362	2.381	2.393	2.404	2.379								
(Vm) Volumen de la mezcla (W/Gm) [cm ³]	508.044	503.990	501.463	499.168	504.414								
(%Vg) Porcentaje del volumen del agregado [%]	86.12%	86.76%	87.19%	87.46%	86.29%								
(%Vb) Porcentaje del volumen del asfalto [%]	11.57%	11.71%	11.72%	11.84%	11.95%								
(%Va) Porcentaje del volumen de aire vacío [%]	2.31%	1.53%	1.10%	0.70%	1.75%								
Resultados obtenidos en nomograma de Shell													
(S _m) Modulo de rigidez de la mezcla [N/m ²]	4.20E+09	4.40E+09	4.60E+09	4.70E+09	4.30E+09								

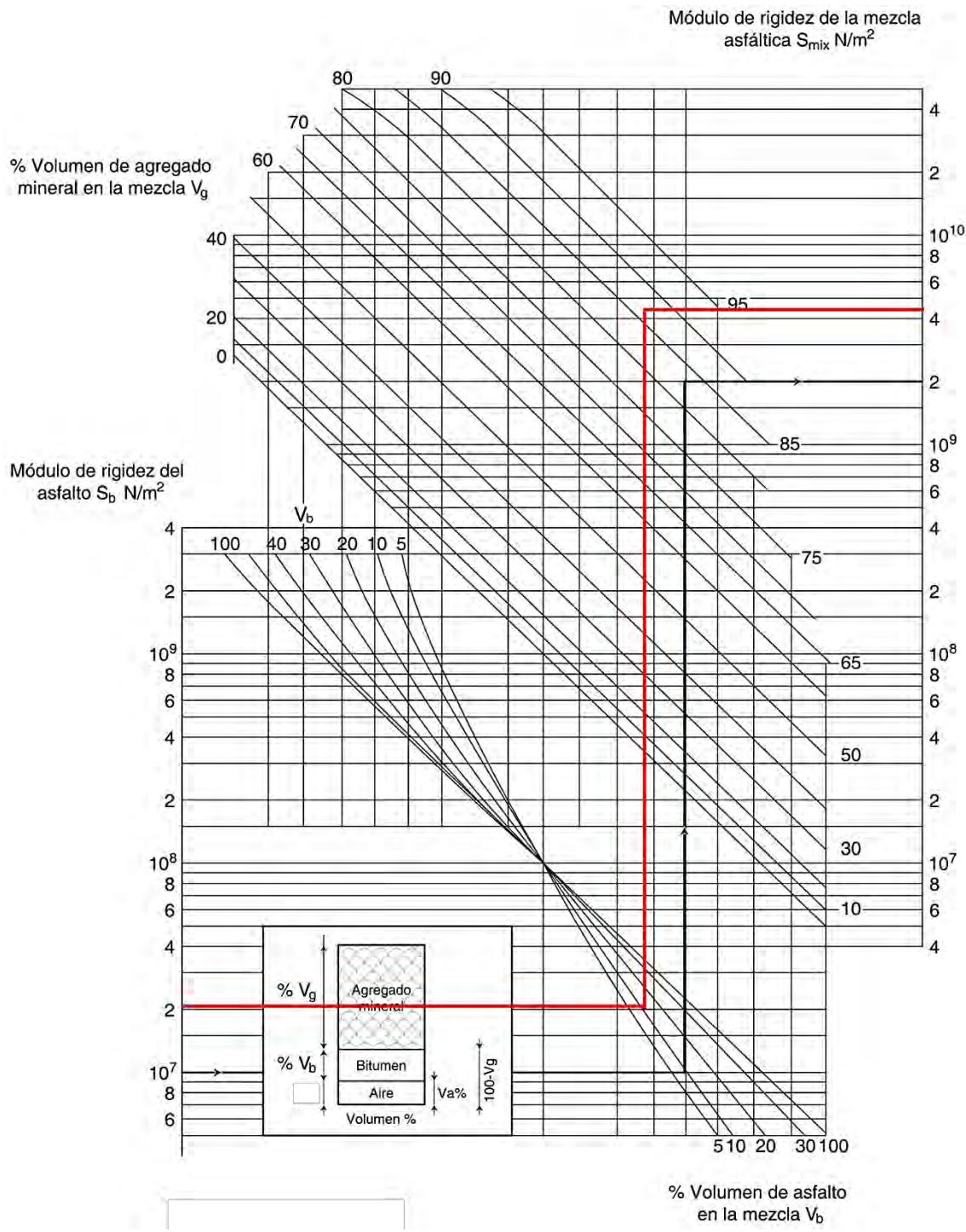
Nota. Elaboración propia.

Figura 90: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica patrón, mediante nomograma de Shell.



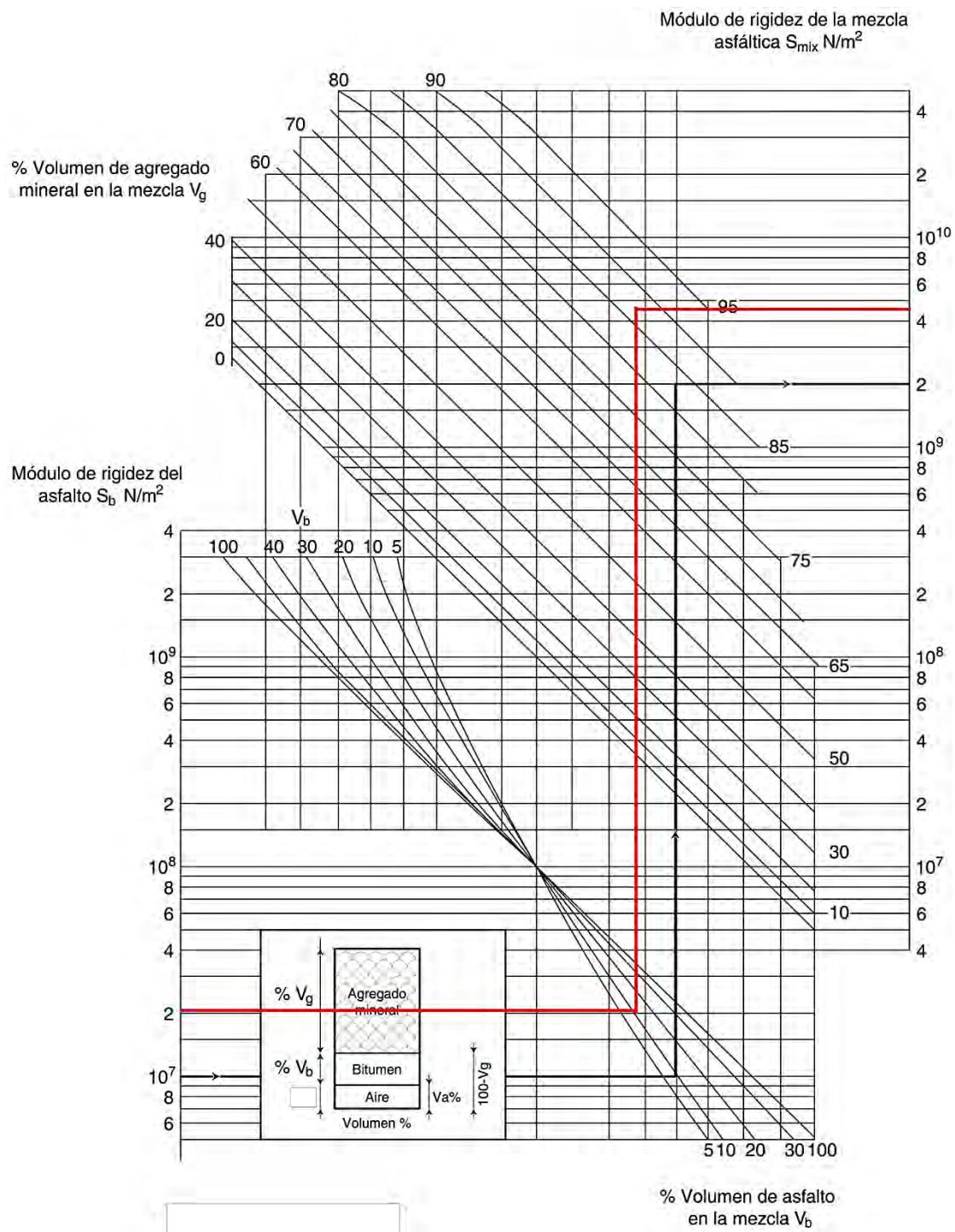
Nota. Elaboración propia.

Figura 91: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 1% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.



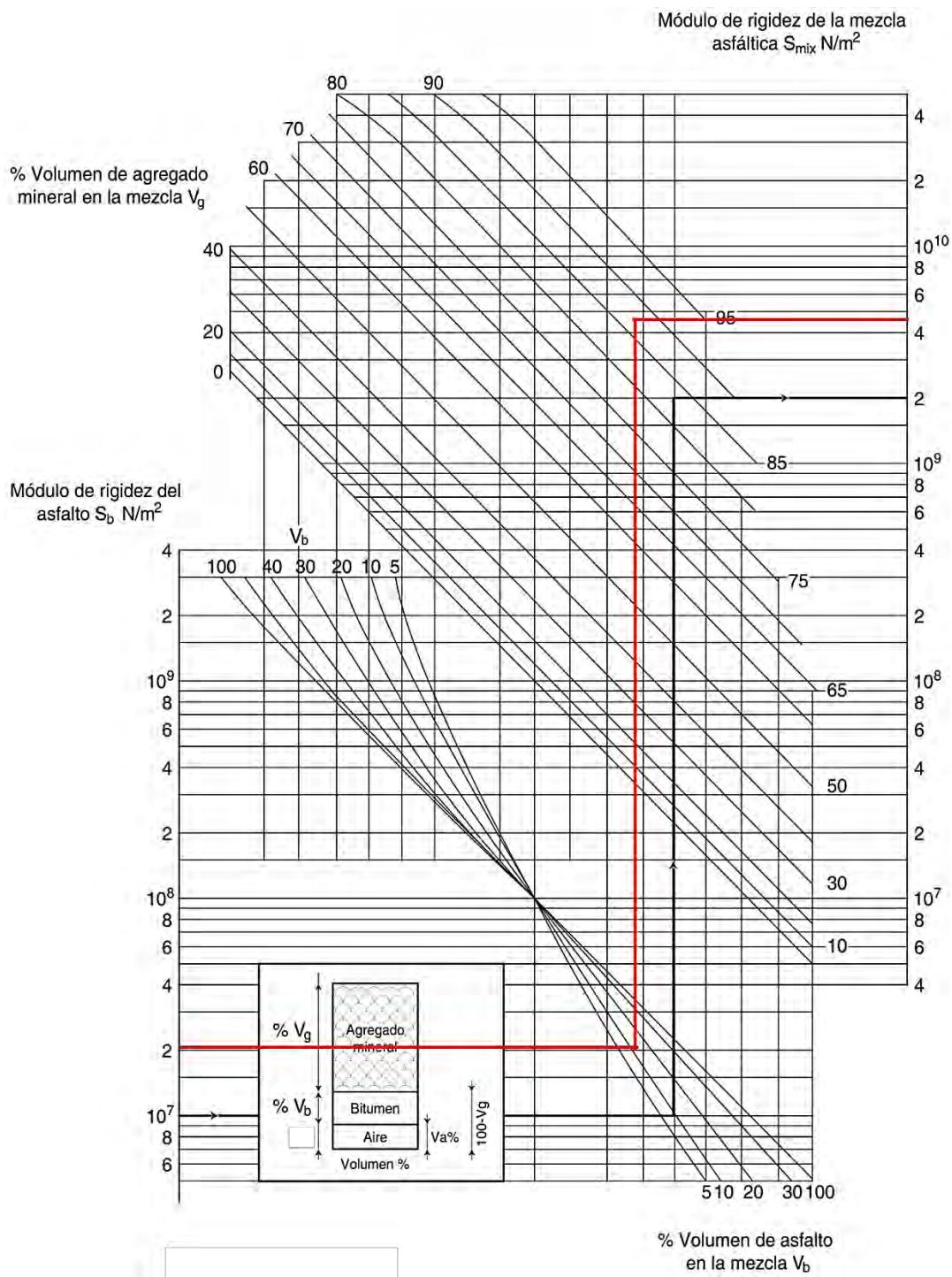
Nota. Elaboración propia.

Figura 92: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 2% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.



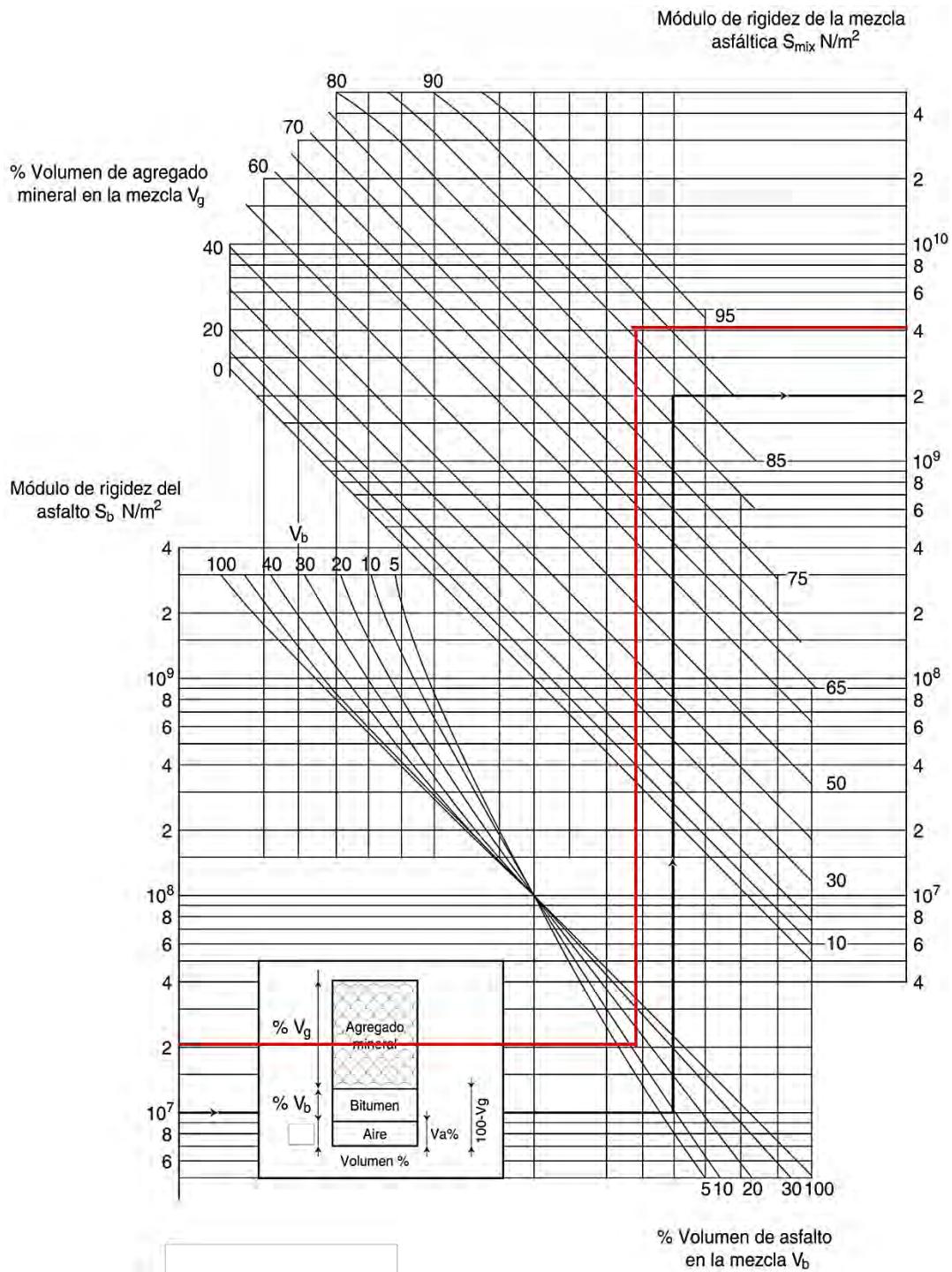
Nota. Elaboración propia.

Figura 93: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 4% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.



Nota. Elaboración propia.

Figura 94: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica adicionando 8% cemento comercial como filler, mediante nomograma de Shell.



Nota. Elaboración propia.

Figura 95: Determinación del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica adicionando 1%, 2%, 4% y 8% cemento comercial como filler, mediante las ecuaciones de Bonnaure et al.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 													
Tesis:	Análisis de las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la adición de cemento comercial como filler, en la ciudad del Cusco 2023.												
Tesista:	Br. Ammisandday Resembink Montañez Castro	Fecha:	28/11/2024										
Laboratorio:	METROASPHALT S.A.C.												
Muestra:	Probetas patrón con 6.20% de asfalto												
MÓDULO DE RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFÁLTICA - ECUACIONES DE BONNAURE ET AL.													
DATOS DE LA MUESTRA													
	0%	1%	2%	4%	8%								
Características del betún													
(S _b) Modulo de rigidez del betún [N/m ²]	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07	2.10E+07								
Características de la mezcla asfáltica													
(%Vg) Porcentaje del volumen del agregado [%]	86.12%	86.76%	87.19%	87.46%	86.29%								
(%Vb) Porcentaje del volumen del asfalto [%]	11.57%	11.71%	11.72%	11.84%	11.95%								
(%Va) Porcentaje del volumen de aire vacío [%]	2.31%	1.53%	1.10%	0.70%	1.75%								
$\beta_1(10.82-1.342(1-(\%Vg))/((\%Vg)+(\%Vb)))$	10.629	10.640	10.646	10.651	10.633								
$\beta_2(8+0.00568(\%Vg)100+0.0002135((\%Vg)100)^2)$	10.073	10.100	10.118	10.130	10.080								
$\beta_3(0.6LOG(((1.37((\%Vb)100)^2)-1)/(1.33(\%Vb)100-1)))$	0.662	0.665	0.665	0.668	0.670								
$\beta_4(0.7582*(\beta_1-\beta_2))$	0.422	0.409	0.400	0.395	0.419								
Cálculo del módulo de rigidez de la mezcla en unidades SI													
Caso I Para 5.00E+06 N/m ² < S _b < 1.00E+09 N/m ²													
$\log Sm=0.5(\beta_4+\beta_3)(\log Sb-8)+0.5(\beta_4-\beta_3) \log Sb-8 +\beta_2$													
Caso II Para 1.00E+09 N/m ² < S _b < 3.00E+09 N/m ²													
$\log Sm=\beta_2+\beta_4+2.0959(\beta_1-\beta_2-\beta_4)(\log Sb-9)$													
Resultados obtenidos mediante ecuaciones Bonnaure et al.													
Caso a elegir según S _b	Caso I	Caso I	Caso I	Caso I	Caso I								
(S _m) Modulo de rigidez de la mezcla [N/m ²]	4.21E+09	4.46E+09	4.65E+09	4.76E+09	4.23E+09								

Nota. Elaboración propia.

Anexo N°13: Panel fotográfico

Figura 96: Granulometría de agregado grueso piedra chancada.



Nota. Elaboración propia.

Figura 97: Granulometría de agregado fino arena natural.



Nota. Elaboración propia.

Figura 98: Granulometría de agregado fino arena triturada



Nota. Elaboración propia.

Figura 99: Equipo para calentar los agregados y asfalto.



Nota. Elaboración propia.

Figura 100: Calentado de briqueteras para iniciar con la mezcla y compactación de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 101: Separación de asfalto para iniciar con la mezcla y compactación de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 102: Calentado de agregados para la posterior mezcla con asfalto.



Nota. Elaboración propia.

Figura 103: Control de temperatura en el calentado de agregados para la mezcla y compactación de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 104: Calentado en simultáneo de agregado, asfalto y equipo para la mezcla y compactación de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 105: Preparación de agregados para las distintas dosificaciones de asfalto para la mezcla y compactación de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 106: Muestras compactadas con las distintas dosificaciones de asfalto para la obtención de contenido óptimo de asfalto de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 107: Medición de espesor y altura de los especímenes para la obtención de contenido óptimo de asfalto de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 108: Pesaje de los especímenes para la obtención de contenido óptimo de asfalto de MAC patrón.



Nota. Elaboración propia.

Figura 109: Sumergido de los especímenes en baño maría a 25°C para determinar el peso específico de las MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 110: Control de temperatura de baño maría para determinar el peso específico de las MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 111: Control de temperatura de baño maría para determinar el peso específico de las MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 112: Control de temperatura para el pesaje de especímenes sumergidas y así determinar el peso específico de las MAC.



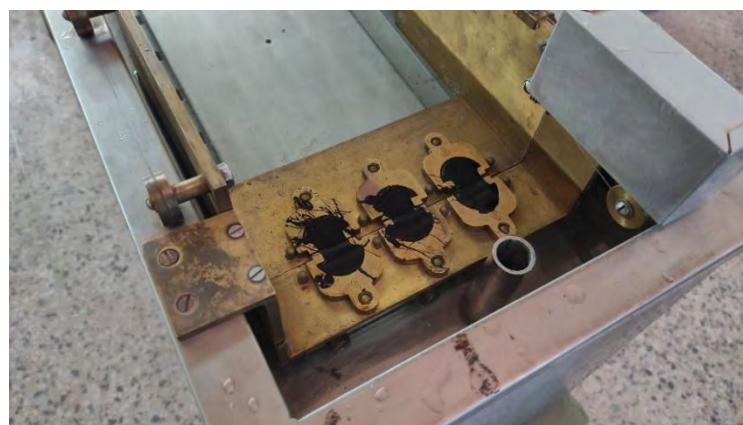
Nota. Elaboración propia.

Figura 113: Baño maría de los especímenes para posterior ensayo en aparato Marshall y determinación de estabilidad y flujo.



Nota. Elaboración propia.

Figura 114: Colocación de muestras en el ductilómetro de asfalto Pen 85/100.



Nota. Elaboración propia.

Figura 115: Control de temperatura en el ductilómetro para realizar el ensayo de ductilidad de asfalto pen 85/100.



Nota. Elaboración propia.

Figura 116: Ensayo de ductilidad de asfalto pen 85/100.



Nota. Elaboración propia.

Figura 117: Colocación de muestras en el penetrómetro de asfalto Pen 85/100.



Nota. Elaboración propia.

Figura 118: Calentado de agregados, cemento y asfalto para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 119: Compactación manual de las MAC para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 120: Extracción manual de las MAC para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 121: Especímenes adicionando 1%, 2%, 4% y 8% de cemento como filler para la determinación del contenido óptimo de cemento adicionado de MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 122: Medición de espesor y altura de especímenes adicionando 1%, 2%, 4% y 8% de cemento como filler de MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 123: Especímenes adicionando 1%, 2%, 4% y 8% de cemento como filler para los ensayos TSR, resistencia a la compresión e índice de resistencia retenida.



Nota. Elaboración propia.

Figura 124: Moldes que se usaron para la elaboración de especímenes de MAC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 125: Baño maría para realizar el ensayo en el aparto Marshall y así obtener los parámetros de estabilidad y flujo de MAC adicionado cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 126: Equipo de vacíos para realizar el ensayo de gravedad teórica máxima y saturación de MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 127: Equipo RICE para la determinación de gravedad teórica máxima y saturación de MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 128: Saturación de los especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler para realizar el ensayo TSR.



Nota. Elaboración propia.

Figura 129: Preparación de las de los especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler para la etapa de congelación del ensayo TSR.



Nota. Elaboración propia.

Figura 130: Proceso del ensayo de TSR donde los especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler son congelados a -18°C.



Nota. Elaboración propia.

Figura 131: Descongelación a 25°C para su medición de espesor y diámetro de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler son congelados.



Nota. Elaboración propia.

Figura 132: Ensayo en el aparato Marshall para determinar estabilidad y flujo de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 133: Ensayo en el cabezal Lottman para determinar TSR de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

Figura 134: Ensayo compresión para determinar resistencia a la compresión e índice de retención retenida de especímenes MAC patrón y MAC patrón adicionando cemento como filler.



Nota. Elaboración propia.

Anexo N°14: Certificados de calibración de equipos de laboratorio

Figura 135: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte I.




**CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA**

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza
Calibration Certificate - Laboratory of Force

2MUK-2024 GLF

Page / Pág. 1 de 6

Objeto de Prueba <i>Test Object</i>	MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN	<p>Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
Instrumento <i>Instrument</i>	MÁQUINA PARA ENSAYOS MARSHALL	
Fabricante <i>Manufacturer</i>	FORNEY	
Modelo <i>Model</i>	PA16063	
Número de Serie <i>Serial Number</i>	800-367-6397	
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	NO INDICA	
Capacidad Máxima <i>Maximum Capacity</i>	5000 kgf	
División de Escala <i>Scale Division</i>	0,1 kgf	
Solicitante <i>Customer</i>	METROASPHALT CONSULTORES Y EJECUTORES S.A.C.	
Dirección <i>Address</i>	MZA. D LOTE. 7 URB. JOSE CARLOS MARIATEGUI CUSCO - CUSCO - WANCHAQ	
Ciudad <i>City</i>	CUSCO	
Fecha de calibración <i>Date of calibration</i>	2024-09-27	
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2024-09-27	
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>		6
<p>Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología G&L Laboratorio no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.</p> <p><i>Without the approval of the G&L Laboratorio Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.</i></p>		
Firmas que Autorizan el Certificado <i>Signatures Authorizing the Certificate</i>		 
Jhon Yoplac Villanueva <i>JEFE DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA</i> <i>G&L LABORATORIO S.A.C.</i>		Firmado Digitalmente por: YOPLAC VILLANUEVA JHON JEFFERSON FIR 70812584 hard Motivo: JEFE DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA Fecha: 27/09/2024 17:52:06-0500
<p>Av. Miraflores Mz. E Lt. 60 Urb Santa Elisa II Etapa. Los Olivos - Lima</p> <p>Correos: certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com laboratorio.gylaboratorio@gmail.com</p> <p>Teléfono (01) 622 - 58 - 14 Celular 992 - 302 - 883 927 - 603 - 430</p>		

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Figura 136: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte II.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2MUK-2024 GLF

Page / Pág. 2 de 6

DATOS TÉCNICOS

Instrumento Bajo Calibración (IBC)	Instrumento(s) de Referencia	
Clase según ISO 7500-1	Instrumento	
0,5	Marca	Celda de Carga Tipo "S" 5T
Clase según ISO 376	Modelo	OHaus // KELI
No Identificable	Clase ISO 7500-1	T71P // A-FED
Dirección de Carga	Número de Serie	0,2
Compresión	Certificado de	B504530209 // AGB8505
Tipo de Indicación	Calibración	CC - 0195 - 2023
Digital	Fecha Calibración	2023 - 11 - 07
División de Escala	Termohigrómetro	EUROTECH // GL-THD02
0,1 kgf		CT-1022-2024 // CT-1024-2024
Resolución		
0,1 kgf		
Intervalo de Medición		
Del 10% al 100% de la		
carga máxima		
Calibrado		
Límite Superior de		
Calibración		
5000 kgf		

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ABNT NBR 8197:2021 "Materiais Metálicos - Calibração de Instrumentos de Medição de Força de Uso Geral", en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 3°C durante cada serie de medición.

Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general del equipo y se determina que: El equipo requiere ajuste de la indicación.

Tabla 1.
Indicaciones como se encuentra el equipo previo al ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Patrón			Promedio	Errores Relativos		
	%	S ₁ kgf	S ₂ kgf		S ₃ kgf	Indicación kgf	q %
20	1000	1028,3	1023,4	1024,1	1025,3	-2,46	0,48
60	3000	3061,4	3052,4	3053,3	3055,7	-1,82	0,29
100	5000	5089,6	5075,2	5074,1	5079,6	-1,57	0,31

Tabla 2.
Indicaciones como se entrega el equipo posterior al ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie						Promedio
	%	S ₁ kgf	S ₂ kgf	S _{2'} kgf	No Aplica	S ₃ kgf	
10	500	503,6	501,1	---	502,1	---	502,3
20	1000	1005,1	1002,7	---	1003,4	---	1003,7
30	1500	1505,5	1503,4	---	1504,1	---	1504,3
40	2000	2002,1	2001,6	---	2001,9	---	2001,9
50	2500	2499,9	2502,1	---	2502,8	---	2501,6
60	3000	3000,2	3002,5	---	3003,4	---	3002,0
70	3500	3500,4	3502,4	---	3503,1	---	3502,0
80	4000	4001,0	4003,7	---	4002,8	---	4002,5
90	4500	4502,7	4507,4	---	4505,4	---	4505,2
100	5000	5005,4	5008,9	---	5007,8	---	5007,4
Ind. después de Carga	0,0	0,0	---	0,0	---	---	---

Técnico de Calibración: Luis Villanueva Chappa

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

*Jhon Yopal Villanueva
Supervisor de Metrología
G&L Laboratorio S.A.C.*

*Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima*

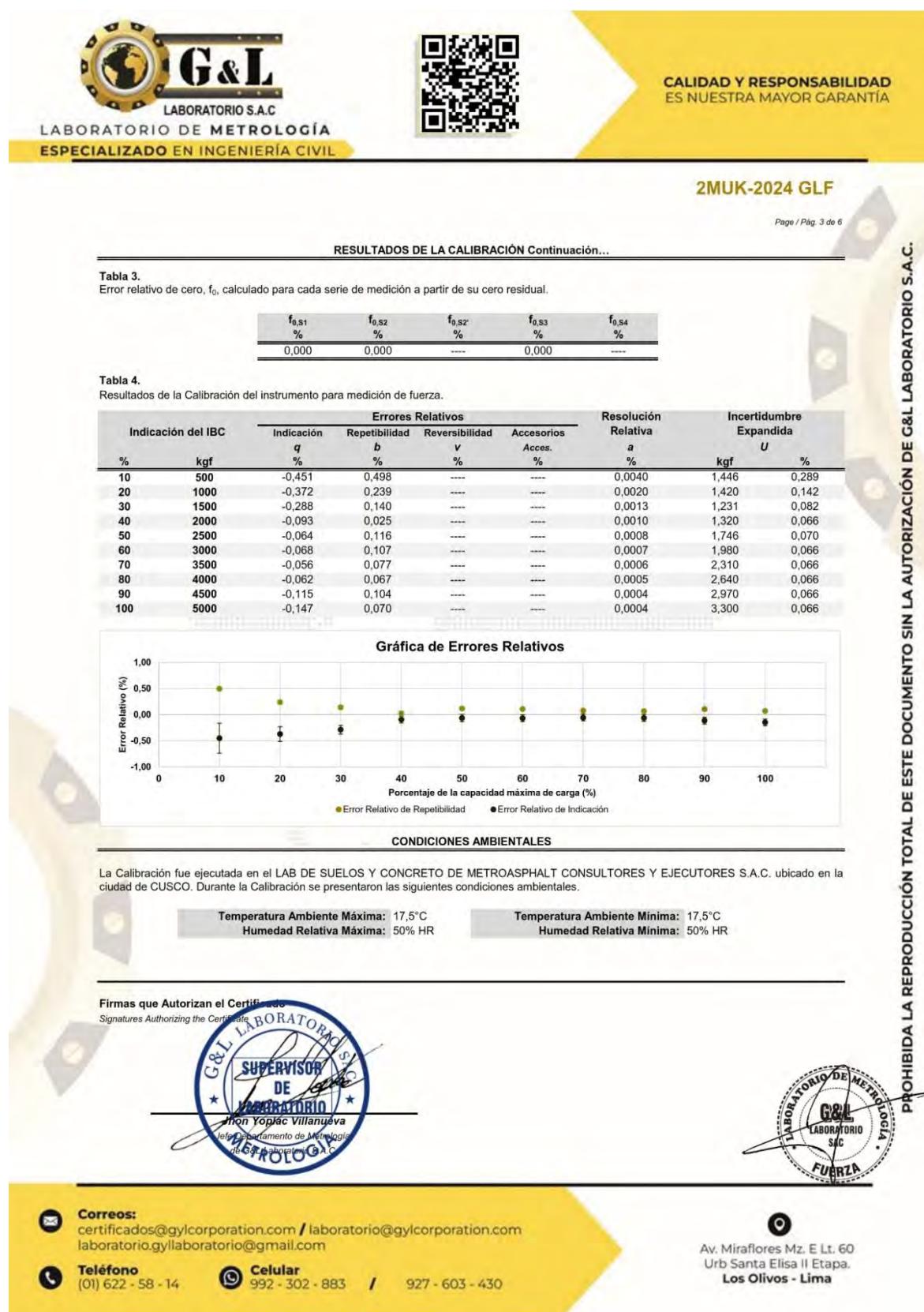
Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 137: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte III.



Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 138: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte IV.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
Especializado en INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2MUK-2024 GLF

Page / Pág. 4 de 6

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 5.
Coeficientes para el cálculo de la fuerza en función de su deformación y su R^2 , el cual refleja la bondad del ajuste del modelo a la variable.

A_0	A_1	A_2	A_3	---	R^2
1,0944E+00	1,0044E+00	-2,5577E-06	3,8850E-10		1,0000E+00

Ecuación 1: donde F (kgf) es la fuerza calculada y X (kgf) es el valor de deformación evaluado.

$$F = A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$$

Tabla 6.
Valores calculados en función de la fuerza aplicada (kgf)

Indicación kgf	0	50	100	150	200
500	502,7	552,8	602,9	653,0	703,1
750	753,1	803,2	853,2	903,3	953,3
1000	1003,3	1053,4	1103,4	1153,4	1203,4
1250	1253,4	1303,4	1353,3	1403,3	1453,3
1500	1503,3	1553,2	1603,2	1653,1	1703,1
1750	1753,1	1803,0	1853,0	1902,9	1952,8
2000	2002,8	2052,7	2102,7	2152,6	2202,5
2250	2252,5	2302,4	2352,4	2402,3	2452,2
2500	2502,2	2552,1	2602,1	2652,0	2702,0
2750	2751,9	2801,9	2851,9	2901,8	2951,8
3000	3001,8	3051,8	3101,7	3151,7	3201,7
3250	3251,7	3301,7	3351,8	3401,8	3451,8
3500	3501,8	3551,9	3601,9	3652,0	3702,1
3750	3752,1	3802,2	3852,3	3902,4	3952,5
4000	4002,7	4052,8	4102,9	4153,1	4203,3
4250	4253,4	4303,6	4353,8	4404,1	4454,3
4500	4504,5	4554,8	4605,1	4655,3	4705,6
4750	4756,0	4806,3	4856,6	4907,0	4957,4
5000	5007,7				

Tabla 7.
Valores Residuales

Indicación del IBC kgf	Promedio $S_{1,2 y 3}$ kgf	Por Interpolación kgf	Residuales kgf
500	502,3	502,7	0,4
1000	1003,7	1003,3	-0,4
1500	1504,3	1503,3	-1,1
2000	2001,9	2002,8	0,9
2500	2501,6	2502,2	0,6
3000	3002,0	3001,8	-0,3
3500	3502,0	3501,8	-0,1
4000	4002,5	4002,7	0,2
4500	4505,2	4504,5	-0,6
5000	5007,4	5007,7	0,4

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

SUPERVISOR DE LABORATORIO
Jhon Yoplac Villanueva
Sist. de Gestión de Metrología
G & L Laboratorio S.A.C.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos: certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 139: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte V.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2MUK-2024 GLF

Page / Pág. 5 de 6

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

La Tabla 8 y Tabla 9 de este Certificado de Calibración se generan debido a que las unidades de la indicación del equipo bajo Calibración no coinciden con los Newton que son las unidades definidas en el Sistema Internacional de Unidades para la magnitud derivada fuerza. Los valores aquí presentados corresponden a la multiplicación de los resultados plasmados en la Tabla 2 y Tabla 4 de este Certificado de Calibración por el factor de conversión correspondiente. Cabe aclarar que los resultados mostrados como valores relativos no se modifican al realizar la conversión de unidades.

El factor de conversión utilizado para los cálculos fue: (kgf) a (kN) = 0,00980665 , tomado del documento NIST SPECIAL PUBLICATION 811: Guía for the use of the International System of Units (SI) - Anexo B8.

Tabla 8.
Indicaciones obtenidas durante la Calibración para cada valor de carga aplicado en kN.

Indicación del IBC %	kN	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie					
		S ₁ Ascendente kN	S ₂ Ascendente kN	S _{2'} No Aplica	S ₃ Ascendente kN	S ₄ No Aplica	Promedio S _{1, 2 y 3} kN
10	4,90	4,94	4,91	---	4,92	4,93	
20	9,81	9,86	9,83	---	9,84	9,84	
30	14,71	14,76	14,74	---	14,75	14,75	
40	19,61	19,63	19,63	---	19,63	19,63	
50	24,52	24,52	24,54	---	24,54	24,53	
60	29,42	29,42	29,44	---	29,45	29,44	
70	34,32	34,33	34,35	---	34,35	34,34	
80	39,23	39,24	39,26	---	39,25	39,25	
90	44,13	44,16	44,20	---	44,18	44,18	
100	49,03	49,09	49,12	---	49,11	49,11	
Ind. después de Carga		0,00	0,00	---	0,00	---	

Tabla 9.
Resultados de la Calibración del instrumento para medición de fuerza.

Indicación del IBC %	kN	Errores Relativos				Resolución Relativa a %	Incertidumbre Expandida U %	
		Indicación q %	Repetibilidad b %	Reversibilidad v %	Accesori os %			
10	4,90	-0,451	0,498	---	---	0,0040	0,01	0,289
20	9,81	-0,372	0,239	---	---	0,0020	0,01	0,142
30	14,71	-0,288	0,140	---	---	0,0013	0,01	0,082
40	19,61	-0,093	0,025	---	---	0,0010	0,01	0,066
50	24,52	-0,064	0,116	---	---	0,0008	0,02	0,070
60	29,42	-0,068	0,107	---	---	0,0007	0,02	0,066
70	34,32	-0,056	0,077	---	---	0,0006	0,02	0,066
80	39,23	-0,062	0,067	---	---	0,0005	0,03	0,066
90	44,13	-0,115	0,104	---	---	0,0004	0,03	0,066
100	49,03	-0,147	0,070	---	---	0,0004	0,03	0,066

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

Juan Yáñez Villanueva
SUPERVISOR DE LABORATORIO

G & L LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 140: Certificado de calibración Máquina para ensayos Marshall Parte VI.



G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL



CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2MUK-2024 GLF

Page / Pág. 6 de 6

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $k=2,013$ y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL EQUIPO

La siguiente Tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza una clase de instrumento de medición de fuerza de acuerdo con la sección 7 de la Norma ISO 7500-1:2018 y la sección 8 de la Norma ISO 376:2011.

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN NORMA ISO 7500-1:2018					
Clase	Indicación	Repetibilidad	Cero	Reversibilidad	Resolución Relativa
0,5	0,50	0,50	0,05	0,75	0,25
1	1,00	1,00	0,10	1,50	0,50
2	2,00	2,00	0,20	3,00	1,00
3	3,00	3,00	0,30	4,50	1,50

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN NORMA ISO 376:2011				
Clase	Reproducibilidad	Repetibilidad	Cero	Reversibilidad
0	0,05	0,025	0,012	0,07
0,5	0,10	0,050	0,025	0,15
1	0,20	0,100	0,050	0,30
2	0,40	0,200	0,100	0,50

OBSERVACIONES

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento.
2. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez.
3. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "En circunstancias normales, la calibración debe realizarse a intervalos de no más de 12 meses. Este rango puede variar según el tipo de instrumento de medición de fuerza de propósito general, el mantenimiento y la severidad del uso." (ABNT NBR 8197:2021)
4. En cualquier caso, la máquina debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes.
5. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
6. Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
7. Se emplea la coma (,) como separador decimal.
8. Con el presente Certificado de Calibración se adjunta la etiqueta de Calibración

No. 2MUK-2024 GLF

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



Jhon Yoplac Villanueva
Supervisor de Laboratorio
G&L LABORATORIO DE METROLOGÍA



Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa.
Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 927 - 603 - 430

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 141: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte I.



Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 142: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte II.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2N50-2024 GLF

Page / Pág. 2 de 5

DATOS TÉCNICOS

Instrumento Bajo Calibración (IBC)	Instrumento(s) de Referencia
Clase según ISO 7500-1	Instrumento
1	Marca
No Identificable	Modelo
Compresión	Clase ISO 7500-1
Dirección de Carga	Número de Serie
Digital	Certificado de
0,01 kN	Calibración
0,01 kN	Fecha Calibración
Del 5% al 50% de la	CC - 3613 - 2024
carga máxima	2024-08-08
Calibrado	Termohigrómetro
1000 kN	EUROTECH // GL-THD02
Límite Superior de	CT-1022-2024 // CT-1024-2024
Calibración	

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ABNT NBR 8197:2021 "Materiais Metálicos - Calibração de Instrumentos de Medição de Força de Uso Geral", en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 3°C durante cada serie de medición.

Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general del equipo y se determina que: El equipo requiere ajuste de la indicación.

Tabla 1.
Indicaciones como se encuentra el equipo previo al ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Patrón			Promedio	Errores Relativos	
	S ₁ Ascendente kN	S ₂ Ascendente kN	S ₃ Ascendente kN		Indicación q %	Repetibilidad b %
10	200	215,5	215,4	215,4	-7,16	0,06
30	600	612,9	612,9	612,9	-2,10	0,03
50	1000	1012,5	1012,4	1012,4	-1,23	0,02

Tabla 2.
Indicaciones como se entrega el equipo posterior al ajuste

Indicación del IBC	Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie						Promedio
	S ₁ Ascendente kN	S ₂ Ascendente kN	S _{2'} No Aplica ----	S ₃ Ascendente kN	S ₄ No Aplica ----	S _{1,2 y 3} kN	
5	100	99,1	99,2	99,2	---	99,2	
10	200	198,9	198,9	198,8	---	198,8	
15	300	298,3	298,7	298,5	---	298,5	
20	400	398,4	398,6	398,5	---	398,5	
25	500	499,0	499,1	499,1	---	499,1	
30	600	599,4	599,6	599,7	---	599,6	
35	700	699,6	699,7	699,7	---	699,7	
40	800	799,6	799,7	799,7	---	799,7	
45	900	899,4	899,4	899,4	---	899,4	
50	1000	999,3	999,4	999,5	---	999,4	
Ind. después de Carga	0,0	0,0	----	0,0	----	----	

Técnico de Calibración: Luis Villanueva Chappa

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

Luis Villanueva Chappa
Jefe Departamento de Metrología
G & L LABORATORIO S.A.C.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 143: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte III.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2N50-2024 GLF

Page / Pág. 3 de 5

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 3.
Error relativo de cero, f_0 , calculado para cada serie de medición a partir de su cero residual.

	$f_{0,51}$ %	$f_{0,52}$ %	$f_{0,52'}$ %	$f_{0,53}$ %	$f_{0,54}$ %
	0,000	0,000	---	0,000	---

Tabla 4.
Resultados de la Calibración del instrumento para medición de fuerza.

Indicación del IBC %	kN	Errores Relativos				Resolución Relativa a %	Incertidumbre Expandida U kN
		a %	b %	v %	Acces. %		
5	100	0,813	0,107	---	---	0,0020	0,084
10	200	0,580	0,061	---	---	0,0010	0,168
15	300	0,502	0,153	---	---	0,0007	0,268
20	400	0,384	0,051	---	---	0,0005	0,336
25	500	0,188	0,013	---	---	0,0004	0,420
30	600	0,073	0,044	---	---	0,0003	0,504
35	700	0,049	0,016	---	---	0,0003	0,588
40	800	0,042	0,019	---	---	0,0003	0,672
45	900	0,068	0,005	---	---	0,0002	0,756
50	1000	0,064	0,016	---	---	0,0002	0,840

Gráfica de Errores Relativos

CONDICIONES AMBIENTALES

La Calibración fue ejecutada en el LAB DE SUELOS Y CONCRETO DE METROASPHALT CONSULTORES Y EJECUTORES S.A.C. ubicado en la ciudad de CUSCO. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura Ambiente Máxima: 17,5°C	Temperatura Ambiente Mínima: 17,5°C
Humedad Relativa Máxima: 50% HR	Humedad Relativa Mínima: 50% HR

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

SUPERVISOR DE LABORATORIO
John Yoplac Villanueva
Referentimiento de Metrología
G&L Laboratorio S.A.C.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono (01) 622 - 58 - 14 **Celular** 992 - 302 - 883 / 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 144: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte IV.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2N50-2024 GLF

Page / Pág. 4 de 5

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 5.
Coeficientes para el cálculo de la fuerza en función de su deformación y su R^2 , el cual refleja la bondad del ajuste del modelo a la variable.

A_0	A_1	A_2	A_3	---	R^2
1,3013E-01	9,8817E-01	2,7241E-05	-1,6333E-08		1,0000E+00

Ecuación 1: donde F (kN) es la fuerza calculada y X (kN) es el valor de deformación evaluado.

$$F = A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$$

Tabla 6.
Valores calculados en función de la fuerza aplicada (kN)

Indicación kN	0	10	20	30	40
100	99,2	109,1	119,1	129,0	139,0
150	148,9	158,9	168,8	178,8	188,8
200	198,7	208,7	218,7	228,7	238,6
250	248,6	258,6	268,6	278,6	288,6
300	298,6	308,6	318,6	328,6	338,6
350	348,6	358,6	368,7	378,7	388,7
400	398,7	408,7	418,8	428,8	438,8
450	448,8	458,9	468,9	478,9	489,0
500	499,0	509,0	519,0	529,1	539,1
550	549,1	559,2	569,2	579,2	589,3
600	599,3	609,3	619,4	629,4	639,4
650	649,5	659,5	669,5	679,5	689,6
700	699,6	709,6	719,6	729,7	739,7
750	749,7	759,7	769,7	779,7	789,7
800	799,7	809,7	819,7	829,7	839,7
850	849,7	859,7	869,7	879,7	889,7
900	899,6	909,6	919,6	929,6	939,5
950	949,5	959,4	969,4	979,3	989,3
1000	999,2				

Tabla 7.
Valores Residuales

Indicación del IBC kN	Promedio $S_{1,2,y,3}$ kN	Por Interpolación kN	Residuales kN
100	99,2	99,2	0,0
200	198,8	198,7	-0,1
300	298,5	298,6	0,1
400	398,5	398,7	0,2
500	499,1	499,0	-0,1
600	599,6	599,3	-0,3
700	699,7	699,6	-0,1
800	799,7	799,7	0,1
900	899,4	899,6	0,3
1000	999,4	999,2	-0,2

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

G & L LABORATORIO
SUPERVISOR DE LABORATORIO
Jhon Yoelac Villanueva
Jefe Departamento de Metrología
G & L LABORATORIO S.A.C.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Correos: certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 927 - 603 - 430

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Figura 145: Certificado de calibración Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto Parte V.

G & L
LABORATORIO S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA
ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA CIVIL

CALIDAD Y RESPONSABILIDAD
ES NUESTRA MAYOR GARANTÍA

2N50-2024 GLF

Page / Pág. 5 de 5

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura $k=2,013$ y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL EQUIPO

La siguiente Tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza una clase de instrumento de medición de fuerza de acuerdo con la sección 7 de la Norma ISO 7500-1:2018 y la sección 8 de la Norma ISO 376:2011.

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN NORMA ISO 7500-1:2018					
Clase	Indicación	Repetibilidad	Cero	Reversibilidad	Resolución Relativa
0,5	0,50	0,50	0,05	0,75	0,25
1	1,00	1,00	0,10	1,50	0,50
2	2,00	2,00	0,20	3,00	1,00
3	3,00	3,00	0,30	4,50	1,50

ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN NORMA ISO 376:2011				
Clase	Reproducibilidad	Repetibilidad	Cero	Reversibilidad
0	0,05	0,025	0,012	0,07
0,5	0,10	0,050	0,025	0,15
1	0,20	0,100	0,050	0,30
2	0,40	0,200	0,100	0,50

OBSERVACIONES

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento.
2. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez.
3. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "En circunstancias normales, la calibración debe realizarse a intervalos de no más de 12 meses. Este rango puede variar según el tipo de instrumento de medición de fuerza de propósito general, el mantenimiento y la severidad del uso." (ABNT NBR 8197:2021)
4. En cualquier caso, la máquina debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes.
5. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
6. Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
7. Se emplea la coma (,) como separador decimal.
8. Con el presente Certificado de Calibración se adjunta la etiqueta de Calibración

No. **2N50-2024 GLF**

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate

THOMAS YOPÍAC VILLANUEVA
Supervisor de Metrología
G&L LABORATORIO S.A.C.

Av. Miraflores Mz. E Lt. 60
Urb Santa Elisa II Etapa,
Los Olivos - Lima

Correos:
certificados@gylcorporation.com / laboratorio@gylcorporation.com
laboratorio.gylaboratorio@gmail.com

Teléfono: (01) 622 - 58 - 14 **Celular:** 992 - 302 - 883 927 - 603 - 430

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE G&L LABORATORIO S.A.C.

Nota. Extraído de G&L Laboratorio S.A.C.

Anexo N°15: Certificados de uso de laboratorio

Figura 146: Certificado de uso de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales – EPIC.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES Av. de la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																	
<u>CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN</u>																																	
EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.																																	
HACE CONSTAR:																																	
<p>Que el tesista; conductor a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. AMMISANDDAY RESEMBINK MONTAÑEZ CASTRO, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON LA ADICIÓN DE CEMENTO COMERIAL COMO FILLER, EN LA CIUDAD DEL CUSCO 2023"</p>																																	
<p>Los ensayos que realizaron son los siguientes:</p>																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro</th> <th>ENSAYO</th> <th>NORMA</th> <th>CANT.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos</td> <td>MTC E 204</td> <td>06</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>Métodos de ensayo para determinar la gravedad específica y absorción de agregados finos</td> <td>MTC E 205</td> <td>03</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Métodos de ensayo para determinar la gravedad específica y absorción de agregados gruesos</td> <td>MTC E 206</td> <td>03</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>Abrasión los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamíos menores de 37,5 mm</td> <td>MTC E 207</td> <td>01</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos</td> <td>MTC E 110 y MTC E 111</td> <td>01</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>Método para determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos</td> <td>MTC E 304</td> <td>03</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>Método para determinar la ductilidad de los materiales bituminosos</td> <td>MTC E 306</td> <td>03</td> </tr> </tbody> </table>		Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.	01	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos	MTC E 204	06	02	Métodos de ensayo para determinar la gravedad específica y absorción de agregados finos	MTC E 205	03	03	Métodos de ensayo para determinar la gravedad específica y absorción de agregados gruesos	MTC E 206	03	04	Abrasión los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamíos menores de 37,5 mm	MTC E 207	01	05	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	MTC E 110 y MTC E 111	01	06	Método para determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos	MTC E 304	03	07	Método para determinar la ductilidad de los materiales bituminosos	MTC E 306	03
Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.																														
01	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos	MTC E 204	06																														
02	Métodos de ensayo para determinar la gravedad específica y absorción de agregados finos	MTC E 205	03																														
03	Métodos de ensayo para determinar la gravedad específica y absorción de agregados gruesos	MTC E 206	03																														
04	Abrasión los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamíos menores de 37,5 mm	MTC E 207	01																														
05	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	MTC E 110 y MTC E 111	01																														
06	Método para determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos	MTC E 304	03																														
07	Método para determinar la ductilidad de los materiales bituminosos	MTC E 306	03																														

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 18 de agosto del 2025



Nota. Obtenido de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales – EPIC.

Figura 147: Certificado de uso de laboratorio de Ingeniería Inka Test E.I.R.L.



**CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE INGENIERÍA Y CONSULTORÍA
INKA TEST E.I.R.L.**

**EL QUE SUSCRIBE REPRESENTANTE LEGAL DE LABORATORIO DE
INGENIERÍA Y CONSULTORÍA INKA TEST E.I.R.L.**

HACE CONSTAR:

Que el tesista; **Br. AMMISANDDAY RESEMBINK MONTAÑEZ CASTRO**, hizo uso del mencionado laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON LA ADICIÓN DE CEMENTO COMERCIAL COMO FILLER, EN LA CIUDAD DEL CUSCO 2023**".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

ENSAYO	NORMA	CANTIDAD
AGREGADO GRUESO		
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	1.00
Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado	MTC E 214	1.00
Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras	MTC E 221	1.00
Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso	MTC E 210	1.00
Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles	MTC E 219	1.00
AGREGADO FINO		
Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Procedimiento Riedel-Weber)	MTC E 220	1.00
Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino	MTC E 114	1.00
Azul de metileno	AASTHO TP 57	1.00
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	1.00
Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado	MTC E 214	1.00
Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles	MTC E 219	1.00

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 15 de agosto del 2025.

INGENIERIA INKA TEST E.I.R.L.
Abel Rodas Guitiño
DNI 47 79155
REPRESENTANTE LEGAL

Urb. Mariscal Gamarra 19 – G – Cusco – Cusco – Perú
950395994

T.

Nota. Obtenido de Ingeniería Inka Test E.I.R.L.

Figura 148: Certificado de uso de laboratorio de METROASPHALT S.A.C.

CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE METROASPHALT
CONSULTORES Y EJECUTORES S.A.C.

EL QUE SUSCRIBE GERENTE GENERAL DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE METROASPHALT CONSULTORES Y EJECUTORES S.A.C.

HACE CONSTAR:

Que el tesista; **Br. AMMISANDDAY RESEMBINK MONTAÑEZ CASTRO**, hizo uso del mencionado laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON LA ADICIÓN DE CEMENTO COMERCIAL COMO FILLER, EN LA CIUDAD DEL CUSCO 2023**".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

ENSAYO	NORMA	CANTIDAD
AGREGADO GRUESO		
Peso específico y absorción de agregados gruesos	MTC E 206	3.00
Ánálisis granulométrico	MTC E 204	1.00
Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado-bitumen	MTC E 517	3.00
AGREGADO FINO		
Gravedad específica y absorción de agregados finos	MTC E 205	3.00
Ánálisis Granulométrico	MTC E 204	1.00
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	3.00
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE		
Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas de pavimento asfáltico	MTC E 507	96.00
Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca	MTC E 514	96.00
Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos	MTC E 508	36.00
Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall	MTC E 504	36.00
Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad por medio de la relación en la resistencia a la tensión indirecta	MTC E 522	30.00
Efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas	MTC E 518	30.00
CEMENTO		
Ánálisis granulométrico	MTC E 204	1.00

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 15 de agosto del 2025.

METROASPHALT S.A.C
 Ing. Freddy Pilco Bejar
 C.P. 56398
 GERENTE GENERAL

Nota. Obtenido de METROASPHALT S.A.C.