



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO POLÍMERO SBS – FILLER
CEMENTO PARA MEJORAR DURABILIDAD DE CARPETA RODADURA EN
AVENIDA CORDILLERA NEGRA CHORRILLOS, LIMA 2023**

**Línea de investigación:
Seguridad vial e infraestructura de transporte**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Maldonado Huamaní, José Luis
(ORCID: 0009-0009-1665-0300)

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo
(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

Romero Rios, David
Arévalo Vidal, Samir Augusto
Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Lima - Perú

2024



DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO POLÍMERO SBS – FILLER CEMENTO PARA MEJORAR DURABILIDAD DE CARPETA RODADURA EN AVENIDA CORDILLERA NEGRA CHORRILLOS, LIMA 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet	3%
2	repositorio.ucv.edu.pe	Fuente de Internet	3%
3	repositorio.puce.edu.ec	Fuente de Internet	1%
4	1library.co	Fuente de Internet	1%
5	cybertesis.uni.edu.pe	Fuente de Internet	1%
6	repositorio.continental.edu.pe	Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net	Fuente de Internet	1%
8	repositorio.urp.edu.pe	Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO UTILIZANDO POLÍMERO SBS – FILLER CEMENTO PARA MEJORAR DURABILIDAD DE CARPETA RODADURA EN AVENIDA CORDILLERA NEGRA CHORRILLOS, LIMA 2023

Línea de investigación:

Seguridad vial e infraestructura de transporte

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor

Maldonado Huamaní, José Luis
(ORCID: 0009-0009-1665-0300)

Asesor

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo
(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado

Romero Rios, David
Arévalo Vidal, Samir Augusto
Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Lima – Perú

2024

Dedicatoria

A mi querido hijo José M. Maldonado Vega.

Agradecimientos

Primero agradezco mucho a Dios por ayudarme a levantarme cada vez que tropezaba con grandes obstáculos que me conllevaron a tomar decisiones que me hicieron fracasar, sin duda me ha cuidado en todo el proceso y ahora a punto de concluir los estudios superiores para estar al servicio del País.

Agradezco a mi madre por apoyarme siempre afectivamente y de forma emocional. A mi padre por siempre esforzarse día a día por que nunca nos falte nada en la mesa. A mi hermano Luis Alberto por ser un hermano ejemplar y guía en mi vida.

Agradezco mucho a mis docentes, administrativos y amigos que han hecho posible que pueda llegar tan lejos tan dentro y fuera del país. Y además han compartido sus experiencias y conocimientos para mi formación de ética.

Agradezco a mis tres grandes asesores de tesis el Ing. Gustavo Adolfo Aybar Arriola por recibirme, por darme su tiempo, su contribución, por ser muy atento, por asesoría técnica y metodológica. Al Ing. Sergio Estrada Oblea por recibirme, por darme de su tiempo, por darme su espacio, por darme la oportunidad de usar sus instalaciones, por criticarme y por asesorarme de forma teórica y práctica en la investigación. Y al Ing. Hilarión Feliciano Galván Valdez que me recomendó con muchas de sus amistades para que me den muchas ideas y gestionó la forma de que pueda reunirme de forma presencial con ellos.

Agradezco también a la empresa SEOING E.I.R.L., a todos sus colaboradores gracias por donarme los materiales pétreos y por su gran asesoramiento técnico. Así mismo, a TDM aditivos por la donación de galones emulsión y emulsión modificada con polímero SBS para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco finalmente a la Universidad Ricardo Palma por apoyarme con Laboratorio tecnológico de Mecánica de Suelos y Asfalto, y a la Universidad Nacional Federico Villarreal con su Laboratorio de Materiales.

Índice general

Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice general.....	iv
Índice figuras.....	xiv
Índice ecuaciones.....	xvii
Resumen.....	xviii
Abstract.....	xix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema.....	1
1.1.1. Descripción general.....	1
1.1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.2.1. Antecedentes Nacionales.....	5
1.2.2. Antecedentes Internacionales.....	10
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivo Específico.....	17
1.4. Justificación.....	18

1.5.	Hipótesis.....	19
II.	MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.	Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	20
2.1.1.	Pavimento	20
2.1.2.	Cemento asfáltico.....	21
2.1.3.	Comportamiento mecánico del cemento asfáltico	22
2.1.4.	Emulsión asfáltica.....	23
2.1.5.	Asfaltos modificados	24
2.1.6.	Polímeros	25
2.1.7.	Selección del tipo y grado correcto de la emulsión asfáltica según MS-19 Emulsiones asfálticas.....	26
2.1.8.	Cemento Tipo Portland.....	30
2.1.9.	Apéndice F. Método Marshall para el diseño de mezclas en frío de agregado – emulsión asfáltica (MS-14 Asphalt cold mix).....	31
2.1.10.	Método de diseño de mezclas (MS-19 Emulsiones asfálticas).....	31
III.	MÉTODO	32
3.1.	Tipo de Investigación.....	32
3.2.	Ámbito espacial y temporal.....	32
3.2.1.	Espacial.....	32
3.2.2.	Temporal.....	33
3.3.	Variables.....	33
3.3.1.	Variable Independiente	33

3.3.2.	Variable Dependiente.....	33
3.4.	Población y muestra	34
3.5.	Instrumentos	34
3.6.	Procedimientos	34
3.6.1.	Flujograma	40
3.7.	Análisis de datos.....	41
3.8.	Consideraciones éticas	41
IV.	RESULTADOS.....	42
4.1.	Ensayo de los materiales	42
4.2.	Diseño de mezclas asfálticas	46
4.2.1.	Mezcla asfáltica patrón	46
4.2.2.	Mezcla asfáltica emulsión CSS-1h con agregado de humedad natural	50
4.2.3.	Mezcla asfáltica emulsión CSS-1h con agregado saturado superficialmente seco	59
4.2.4.	Mezcla asfáltica emulsión CSS-1hP SBS con agregado saturado superficialmente seco	67
4.2.5.	Mezcla asfáltica emulsión CSS-1hP SBS con agregado saturado superficialmente seco con filler cemento	76
4.2.6.	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Riedel – Weber)..	83
4.2.7.	Medición de la cinética de hidratación de mezclas cementosas hidráulicas mediante calorimetría (ASTM C 1679-08, 2008)	88
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	93

5.1. Determinar la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío antes de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.....	93
5.1.1. Recolección de resultados.....	93
5.1.2. Análisis de resultados	94
5.2. Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados saturados superficialmente secos.....	95
5.2.1. Recolección de resultados.....	95
5.2.2. Análisis de resultados	96
5.3. Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.	97
5.3.1. Recolección de resultados.....	97
5.3.2. Análisis de resultados	98
5.4. Describir el incremento de la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.	99
5.4.1. Recolección de resultados.....	99
5.4.2. Análisis de resultados	100
5.5. Determinar la forma en cómo podemos diseñar mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS – filler cemento para mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.....	101
5.6. Discusión hipótesis específicas	102
5.6.1. Hipótesis específica 1	102
5.6.2. Hipótesis específica 2	106

5.6.3. Hipótesis específica 3	110
5.7. Discusión hipótesis general.....	114
VI. CONCLUSIONES	117
VII. RECOMENDACIONES.....	120
VIII. REFERENCIAS	121
IX. ANEXO.....	127
9.1. Anexo A. Matriz de consistencia	128
9.2. Anexo B. Matriz operacionalización de variables	129
9.3. Anexo C. Fichas técnicas de los productos	130
9.4. Anexo D. Fotos	135
9.5. Anexo E. Panel fotográfico de ensayos.....	139

Índice tablas

Tabla 1 Media de los indicadores de resistencia mecánica.....	7
Tabla 2 Comparación de valores de flujo y estabilidad para probetas al 5.4% de asfalto y al 6.36% de nano sílice.	8
Tabla 3 Usos generales de las emulsiones asfálticas.	29
Tabla 4 Composición química del cemento Portland.	30
Tabla 5 Requerimientos de alto tránsito para agregados.	35
Tabla 6 Análisis granulométrico del agregado fino (MTC E 204).	42
Tabla 7 Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204).	43
Tabla 8 Análisis granulométrico de la combinación de agregados 56% arena y 44% grava.	44
Tabla 9 Gravedad específica bulk seca y saturada superficialmente seca.	45
Tabla 10 Gravedad específica mezcla seca (Gsb) y saturada superficialmente seca (Gsb sss).	45
Tabla 11 Análisis granulométrico de la combinación.....	46
Tabla 12 Mezcla base.....	47
Tabla 13 Ensayo 1 al 5. Relación Emulsión: Agua.....	47
Tabla 14 Ensayo 7 al 12. Emulsión \pm 1% con agregado de humedad natural.....	50
Tabla 15 Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 7 al 12.....	51
Tabla 16 Ensayo 7 al 12. Emulsión \pm 1% con agregado de humedad natural.....	51
Tabla 17 Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 8 al 12.....	52
Tabla 18 Altura de especímenes 8 al 12 compactados, para la corrección por estabilidad. ...	53
Tabla 19 Peso específico teórico máximo de ensayos 8 al 12.	54
Tabla 20 Vacíos aire, vacíos agregado mineral y vacíos llenos de asfalto ensayos 8 al 12....	54
Tabla 21 Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 8 al 12.....	55

Tabla 22 Propiedades Peso-Volumen en mezcla asfáltica en caliente y en frío.	58
Tabla 23 Ensayo 13 al 18. Emulsión $\pm 1\%$ con agregado saturado superficialmente seco. ...	59
Tabla 24 Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 13 al 18.....	60
Tabla 25 Ensayo 13 al 18. Emulsión $\pm 1\%$ con agregado saturado superficialmente seco. ...	60
Tabla 26 Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 14 al 18.....	61
Tabla 27 Altura de especímenes 14 al 18 compactados, para la corrección por estabilidad. .	62
Tabla 28 Peso específico teórico máximo de ensayos 8 al 12.	63
Tabla 29 Vacíos aire, vacíos agregado mineral y vacíos llenos de asfalto de ensayos 14 al 18.	63
Tabla 30 Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 14 al 18.....	64
Tabla 31 Ensayo 20 al 27. Emulsión $\pm 1\%$ con agregado saturado superficialmente seco. ...	67
Tabla 32 Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 20 al 27.....	68
Tabla 33 Ensayo 20 al 27. Emulsión $\pm 1\%$ con agregado de humedad natural.	69
Tabla 34 Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 20 al 27.....	70
Tabla 35 Altura de especímenes 20 al 27 compactados, para la corrección por estabilidad. .	71
Tabla 36 Peso específico teórico máximo de ensayos 20 al 27.	72
Tabla 37 Vacíos aire, vacíos agregado mineral y vacíos llenos de asfalto de ensayos 20 al 27.	72
Tabla 38 Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 20 al 27.....	73
Tabla 39 Ensayo 28 al 30. Filler cemento $\pm 0.5\%$ con agregado saturado superficialmente seco.	76
Tabla 40 Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 13 al 18.....	77

Tabla 41 Ensayo 28 al 30. Cemento $\pm 0.5\%$ con agregado saturado superficialmente seco. .77	77
Tabla 42 Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 14 al 18..... 78	78
Tabla 43 Altura de especímenes 28 al 30 compactados, para la corrección por estabilidad. .79	79
Tabla 44 Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 28 al 30.....80	80
Tabla 45 Proporción de arena – emulsión para el ensayo Riedel Weber.....83	83
Tabla 46 Temperaturas de mezcla para determinar el índice de adhesividad.....83	83
Tabla 47 Concentración de carbonato de sodio usada.84	84
Tabla 48 Dosificación de obra. Incidencia de la temperatura en la mezcla.....88	88
Tabla 49 Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 8 al 12.....93	93
Tabla 50 Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 14 al 18.....95	95
Tabla 51 Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 20 al 27.....97	97
Tabla 52 Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 28 al 30.....99	99
Tabla 53 Medias de cada ensayo obtenidos del ensayo Marshall vía húmeda. 102	102
Tabla 54 Resumen de procesamiento de casos. 103	103
Tabla 55 Descriptivos. 103	103
Tabla 56 Prueba de normalidad. 104	104
Tabla 57 Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student..... 104	104
Tabla 58 Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student. 104	104
Tabla 59 Prueba de muestras emparejadas, T-Student. 105	105
Tabla 60 Medias de cada ensayo obtenidos del ensayo Marshall vía húmeda. 106	106
Tabla 61 Resumen de procesamiento de casos. 107	107

Tabla 62 Descriptivos.	107
Tabla 63 Prueba de normalidad.	108
Tabla 64 Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.....	108
Tabla 65 Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.	108
Tabla 66 Prueba de muestras emparejadas, T-Student.	109
Tabla 67 Medias de cada ensayo obtenidos del ensayo Marshall vía húmeda.	110
Tabla 68 Resumen de procesamiento de casos.	111
Tabla 69 Descriptivos.	111
Tabla 70 Prueba de normalidad.	112
Tabla 71 Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.....	112
Tabla 72 Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.	112
Tabla 73 Prueba de muestras emparejadas, T-Student.	113
Tabla 74 Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.....	114
Tabla 75 Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.	114
Tabla 76 Prueba de muestras emparejadas, T-Student.	115
Tabla 77 Matriz de consistencia.....	128
Tabla 78 Matriz de operacionalización de variables.....	129
Tabla 79 Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1h (Desperdicio asfáltico 61.5%) + Agregados con humedad natural.....	139
Tabla 80 Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1h (Desperdicio asfáltico 60.5%) + Agregado saturado superficialmente seco.	140
Tabla 81 Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1hP SBS (Desperdicio asfáltico 61.9%) + Agregado saturado superficialmente seco.	141
Tabla 82 Peso específico aparente tanda 8.....	142
Tabla 83 Peso específico aparente tanda 9.....	143

Tabla 84 Peso específico aparente tanda 10.....	144
Tabla 85 Peso específico aparente tanda 11.....	145
Tabla 86 Peso específico aparente tanda 12.....	146
Tabla 87 Peso específico aparente tanda 14.....	147
Tabla 88 Peso específico aparente tanda 15.....	148
Tabla 89 Peso específico aparente tanda 16.....	149
Tabla 90 Peso específico aparente tanda 17.....	150
Tabla 91 Peso específico aparente tanda 18.....	151
Tabla 92 Peso específico aparente tanda 26.....	152
Tabla 93 Peso específico aparente tanda 27.....	153
Tabla 94 Peso específico aparente tanda 20.....	154
Tabla 95 Peso específico aparente tanda 21.....	155
Tabla 96 Peso específico aparente tanda 22.....	156
Tabla 97 Peso específico aparente tanda 28.....	157
Tabla 98 Peso específico aparente tanda 29.....	158
Tabla 99 Peso específico aparente tanda 30.....	159

Índice figuras

Figura 1	Ondulaciones presentes en mayor parte de la Av. Cordillera Negra.....	1
Figura 2	Fotografía tomada dentro de Lecllespampa, configuración vehicular C2, C3 y B2. .	2
Figura 3	Progresiva 0+000.00 km. Av. Cordillera Negra.....	2
Figura 4	Progresiva 0+466.78 km Av. Cordillera Negra.....	3
Figura 5	Progresiva 0+810.66 km Av. Cordillera Negra.....	3
Figura 6	Sección transversal de la infraestructura del camino	20
Figura 7	Cemento asfáltico PEN 60/70 para pavimento concreto asfáltico en caliente.	21
Figura 8	Ebullición del RC-250 y la emulsión CSS-1hP SBS.	27
Figura 9	Análisis de la causa-efecto con la herramienta Espina Ishikawa.	33
Figura 10	Especímenes de concreto asfáltico en frío.	34
Figura 11	Adquisición de emulsiones asfálticas en la planta TDM Asfaltos.	36
Figura 12	Gráfico de M. Duriez, superficie específica vs porcentaje de cemento asfáltico...	37
Figura 13	Emulsión catiónica de rotura lenta – baja viscosidad de consistencia dura (CSS-1h).	39
Figura 14	Emulsión catiónica de rotura lenta – baja viscosidad de consistencia dura modificada con polímero tipo estireno – butadieno – estireno (CSS-1hP SBS).....	39
Figura 15	Flujograma de avance del proyecto.....	40
Figura 16	Tamizaje de la arena.....	42
Figura 17	Tamizaje de la grava.....	43
Figura 18	Curva granulométrica de la combinación 56 % arena y 44 % grava.	44
Figura 19	Ensayo 1, 2 y 5.	48
Figura 20	Ensayo 3 y 4.	49
Figura 21	No homogeneidad del ensayo 5.....	49

Figura 22 Control térmico permanente.....	56
Figura 23 Especímenes 8 al 12 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.	56
Figura 24 Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 8 al 12.	57
Figura 25 Control térmico permanente.....	65
Figura 26 Especímenes 14 al 18 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.	65
Figura 27 Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 14 al 18.	66
Figura 28 Ensayo con la prensa Marshall.....	68
Figura 29 Control térmico permanente.....	74
Figura 30 Especímenes 14 al 18 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.	74
Figura 31 Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 14 al 18.	75
Figura 32 Control térmico permanente.....	81
Figura 33 Especímenes 28 al 30 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.	81
Figura 34 Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 28 al 30.	82
Figura 35 Mezcla de 20 g de arena con 10.36 g de emulsión.....	84
Figura 36 Concentración usada 0.25 gNa ₂ CO ₃ y 250 mL de agua destilada.	85
Figura 37 Ensayo Riedel Weber.	85
Figura 38 Concentraciones M/32, M/64, M/128, M/256 y sin concentración.....	86
Figura 39 Concentraciones M/16, M/8, M/4, M/2 y M/1.....	86
Figura 40 Desprendimiento parcial del ligante en las partículas finas, concentración M/16.	87
Figura 41 Ing. Diego A. Minaya supervisor de la Industria Ulmen sucursal Perú.	88
Figura 42 Recipientes membretados.....	89
Figura 43 Mezcla de la arena – piedra – filler cemento – emulsión modificada.....	89
Figura 44 Cables conectados en el núcleo de la mezcla asfáltica.....	90
Figura 45 Software que registra la temperatura por minuto.	90
Figura 46 Curva calorimétrica Tiempo (°C) vs Temperatura (min). Registro tomado en 3	

días.	91
Figura 47 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 8 al 12.	94
Figura 48 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 14 al 18.	96
Figura 49 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 20 al 27.	98
Figura 50 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 21 y 28 al 30.	100
Figura 51 Flujograma de procedimiento de mezcla.....	101
Figura 52 Estabilidad antes y después de intervenir.....	102
Figura 53 Estabilidad antes y después de intervenir.....	106
Figura 54 Estabilidad antes y después de intervenir.....	110
Figura 55 Emulsión catiónica de rotura lenta fabricado por TDM asfaltos.....	130
Figura 56 Emulsión Catiónica de rotura lenta modificada con polímero.	131
Figura 57 Estado actual del terreno, cabezas duras, discontinuidad en la granulometría.....	135
Figura 58 Estado actual del terreno.	135
Figura 59 Fotografía tomada en el cruce Av. Cordillera Negra y Jr. Carhuarazo.	136
Figura 60 Rotura y curado de la mezcla asfáltica en frío..	136
Figura 61 Asesoría técnica de Sergio Estrada Oblea gerente general de SEOING.....	137
Figura 62 Asesoría técnica de asfalto en frío de Faria Luiz Eduardo de Oliveira gerente general de Grupo Methodus.....	137
Figura 63 Operación de planta de asfalto móvil continua iNova 1200.	138

Índice ecuaciones

Ecuación 1 % Emulsión tentativa.	36
Ecuación 2 % Superficie específica método de laboratorio puentes y calzadas (L.P.C.).	37
Ecuación 3 % Emulsión Instituto de Asfalto (EU).	38
Ecuación 4 % Emulsión tentativo Instituto de Asfalto (EU) alternativo.	38
Ecuación 5 % Emulsión aplicado.	46
Ecuación 6 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 8 al 12.	94
Ecuación 7 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 14 al 18.	96
Ecuación 8 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 20 al 27.	98
Ecuación 9 Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 21 y 28 al 30.	100

Resumen

Objetivo: Determinar el diseño óptimo de mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS – filler cemento para mejorar durabilidad de carpeta rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima. **Método:** El estudio tiene un diseño experimental y descriptivo con enfoque cuantitativo. La muestra estuvo constituida por 54 especímenes, 15 de emulsión CSS-1h con agregados de humedad natural, 15 de emulsión CSS-1h con agregados S.S.S., 15 de emulsión CSS-1hP SBS con agregados S.S.S. y 9 de emulsión CSS-1hP SBS con filler cemento y agregados S.S.S. Los instrumentos fueron una cocina a gas, el baño María, equipo Rice, prensa Marshall y calorímetro semi adiabático. **Resultados:** La emulsión CSS-1h con agregado con humedad natural obtiene un residuo asfáltico óptimo de 6.32% y una estabilidad vía húmeda de 2121.6 kgf. Aumentar la humedad en los agregados hasta la condición S.S.S., se optimizó 1.8 % de residuo asfáltico. Al modificarla con polímero SBS se optimizó 1.5 % de residuo asfáltico y aumentó la estabilidad vía húmeda en 2711.6 kgf. **Conclusiones:** La incorporación de cemento no es viable, dada su estabilidad similar a la mezcla sin intervención. La adherencia entre el agregado fino y emulsión con polímero SBS solo tuvo desprendimiento parcial en la concentración de M/16, lo que garantiza una adherencia durable. No hay incidencia térmica que eleve la temperatura por encima de 23.5 °C en la reacción química de la mezcla, asegurando durabilidad térmica. Finalmente, los valores de estabilidad vía húmeda están dentro de los parámetros establecidos por el manual de carreteras, asegurando la durabilidad mecánica.

Palabras clave: mezcla asfáltica en frío, emulsión CSS-1h, agregado saturado superficialmente seco, polímero SBS, filler cemento, calorimetría.

Abstract

Objective: To determine the optimal design of cold asphalt mixture using SBS polymer and cement filler to enhance the durability of the road surface on Cordillera Negra Avenue in Chorrillos, Lima. **Method:** The study adopts an experimental and descriptive design with a quantitative approach. The sample comprises 54 specimens, including 15 of CSS-1h emulsion with natural moisture aggregates, 15 of CSS-1h emulsion with S.S.S. aggregates, 15 of CSS-1hP SBS emulsion with S.S.S. aggregates, and 9 of CSS-1hP SBS emulsion with cement filler and S.S.S. aggregates. Instruments used include a gas stove, water bath, Rice equipment, Marshall press, and semi-adiabatic calorimeter. **Results:** The CSS-1h emulsion with natural moisture aggregates yields an optimal asphalt residue of 6.32% and a wet stability of 2121.6 kgf. Optimizing a 1.8% asphalt residue is achieved by increasing moisture in the aggregates to the S.S.S. condition. Modification with SBS polymer results in a 1.5% optimized asphalt residue and an increased wet stability of 2711.6 kgf. **Conclusions:** The addition of cement is not viable due to its stability being similar to the untreated mixture. Adherence between fine aggregate and emulsion with SBS polymer only exhibited partial detachment at the M/16 concentration, ensuring durable adhesion. There is no thermal impact causing the temperature to exceed 23.5°C in the chemical reaction of the mixture, ensuring thermal durability. Finally, the wet stability values fall within the parameters established by the road manual, ensuring mechanical durability.

Keywords: Asphalt cold mix, CSS-1h emulsion, saturated surface dry aggregate, SBS polymer, cement filler, calorimetry.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción general

A nivel mundial la economía, el desarrollo de las ciudades y poblados se mueve a través de rutas terrestres, gran parte de la infraestructura de estas rutas terrestres son los pavimentos flexibles. Al mismo tiempo, las políticas de impacto ambiental y conservación del medio, cada día más exigentes, nos incentiva a evaluar alternativas técnico – económicas para la sociedad.

En el Perú según el reporte de Provías Nacional (Nacional, 2023) actualmente se tiene una longitud de 25 530 km de carreteras construidas y en proyecto.

La mezcla asfáltica en frío presenta desafíos en cuanto a su durabilidad y resistencia en comparación con la mezcla asfáltica caliente, según el Manual de carreteras sección de suelos y pavimentos (R.D. N°10-2014-MTC/14, 2014), para caminos de un tráfico mayor de 1 millón de ejes equivalentes acumulados no hay cabida para la mezcla asfáltica en frío.

En el distrito de Chorrillos en la Urbanización Delicias Villa gran parte de las vías no están asfaltadas, la avenida Cordillera Negra tramo jirón Carhuarazo - jirón Nevado Antaccasca es una de ellas, actualmente la vía tiene presencia de ondulaciones y el material predominante en la superficie es la arena limosa como se puede presenciar en la figura 1.

Figura 1

Ondulaciones presentes en mayor parte de la Av. Cordillera Negra.



Fuente: Fotografía Propia.

Se toma este tramo de vía porque es un camino céntrico en la urbanización, la población cuenta con servicios de agua, alcantarillado, electrificación domiciliaria y postes de alumbrado público, comprende también institución educativa nivel inicial, primaria y secundaria. En la zona podemos encontrar bodegas, panadería, Grifo Primax, el parque Micaela Bastidas, centro recreacional, zona almacenes, talleres y el centro Monumental Lecclespampa. Los cuales ponen en evidencia el tránsito vehicular y peatonal.

Figura 2

Fotografía tomada dentro de Lecclespampa, configuración vehicular C2, C3 y B2.



Fuente: Fotografía propia.

Figura 3

Progresiva 0+000.00 km. Av. Cordillera Negra



Nota. Inicio del tramo Av. Cordillera Negra con Jr. Carhuarazo. Tomado de Google. (mayo 2022). [Cordillera Negra]. Recuperado en mayo de 2022 de <https://goo.gl/maps/oc7VyrbqMrFoNR4x8>.

Se hizo un recorrido por el tramo para poder clasificar la clase de vía que es según el reglamento nacional de edificaciones CE.010 Pavimentos Urbanos, y es que en efecto está en el rango de ser una vía local con proyección a vía colectora.

Figura 4

Progresiva 0+466.78 km Av. Cordillera Negra.



Nota. Desgaste del afirmado cerca al Parque Micaela Bastidas. Tomado de Google. (mayo 2022). [Cordillera Negra]. Recuperado en mayo de 2022 de <https://goo.gl/maps/VBifRfGyzpeXzZQK8>.

Figura 5

Progresiva 0+810.66 km Av. Cordillera Negra.



Nota. Fin tramo Av. Cordillera Negra con Jr. Nevado Antaccasca. Tomado de Google. (mayo 2022). [Cordillera Negra]. Recuperado en mayo de 2022 de <https://goo.gl/maps/w66iXEZ8rgXDcy9d7>.

Gracias a la cooperación vecinal, hubo una reunión en el Complejo Monumental Lecclespampa, es un polideportivo ubicado entre las Av. Cordillera Negra y Jr. Nevado Antaccasca, lugar el cual en octubre rinden devoción al señor de Luren, en esta temporada el tránsito aumenta. En fechas no festivas usan el complejo como estacionamiento de vehículos pesados y actividades deportivas como se puede ver en la Figura 2.

La comunidad vecinal deseosos de poder reducir la contaminación por el polvo suspendido, mejorar su seguridad vial y el desarrollo económico piden tener una estructura duradera en el tiempo ya que no hay iniciativas políticas en la zona.

1.1.2. Formulación del Problema

Problema General: ¿De qué forma podemos obtener el diseño óptimo de mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS - filler cemento para mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima?

Problema Específico 1: ¿Cómo se ha determinado la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío antes de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento?

Problema Específico 2: ¿Cuánto podría mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados saturados superficialmente secos?

Problema Específico 3: ¿Cómo mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS?

Problema Específico 4: ¿Podría incrementarse la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Estudios determinaron la influencia del relleno mineral en la resistencia mecánica al incorporarse a una mezcla asfáltica en frío, (Ames, 2021) Huancayo 2018, mezcló 88 especímenes de mezcla asfáltica en frío. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que usó fueron cuestionarios de censo y se experimentó con el equipo Marshall modificado Illinois. Y los resultados obtenidos han sido que al incorporar un relleno mineral en un 0.8 % del peso de agregados pétreos (40 % A. Fino y 60 % A. Grueso) junto con un óptimo residuo de asfalto del 5.55 % del peso de agregados pétreos y agua del 3.62 % del peso de agregados pétreos aumenta en un 14.98 % (10.82 KN) la estabilidad seca y un 14.75 % (8.17 KN) la estabilidad húmeda, presentando así una mayor durabilidad y mejor desempeño mecánico.

Contreras (2020) realizó el estudio titulado “Efecto de la incorporación de relleno mineral sobre las propiedades reológicas del asfalto en frío (método Illinois), en la ciudad de Huancayo el año 2018”, el cual tiene como objetivo determinar cómo influye la incorporación de relleno mineral sobre las propiedades reológicas del asfalto en frío (Método Illinois), Huancayo 2018 y realizó incorporaciones de relleno mineral (Cal hidratada) en dosificaciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% y su influencia sobre las propiedades reológicas de la mezcla asfáltica en frío., la muestra estuvo constituida por 130 especímenes de concreto asfáltico en frío y un tramo prueba de 3x5 m a temperatura ambiente local. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que se usaron fueron balanzas, tamices, equipo Marshall, equipo baño María y la viga Benkelman de dos brazos.

Y los resultados obtenidos han sido una dosificación óptima de 5.75% de residuo asfáltico con 2.34% de agua añadida a la mezcla y una dosificación de relleno mineral en 1.5%

de peso total de la muestra mejorando las propiedades reológicas en 4.02% para la estabilidad, -1.80% en el flujo en relación con una mezcla asfáltica en frío sin incorporación de relleno mineral.

Roncal (2021) realizó el estudio titulado “Diseño de asfalto en frío con emulsión CSS1HP y monofilamentos de polipropileno para mejorar resistencias en zonas altas de Moquegua 2021”; el cual tiene como objetivo realizar un diseño de mezcla asfáltica en frío como una muestra tradicional, y paralelamente otra muestra en el cual se adicionará diversos porcentajes de un mejorador de resistencia constituido por la fibra de monofilamentos de polipropileno hasta alcanzar una resistencia similar a la de mezcla asfáltica en caliente. Los ensayos experimentales estuvieron conformados por 8 grupos (10 pastillas/grupo) de combinación con fibra las cuales fueron sometidas a compresión por tracción por Marshall. El diseño que se utilizó fue lógico hipotético deductivo, con la finalidad de formular las hipótesis como posibles alternativas de solución a los objetivos propuestos. Los instrumentos que se usó fue el equipo Marshall, para lo cual, se realizarán diseños con diversos porcentajes de adición de fibras de monofilamentos de polipropileno (0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%). Y como resultado obtenido el porcentaje óptimo de adición de fibras de Monofilamento es de 0.022% la cual nos da una resistencia a tracción de 597.52 g/m³, con lo cual queda demostrado que la mezcla asfáltica en frío cumple con los parámetros de una mezcla en caliente.

Ramírez (2015) realizó un estudio titulado “Optimización de las mezclas asfálticas en frío utilizando Asfalto Líquido MC-30 y agregados de las canteras san Martín y Cerro Campana, en la ciudad de Trujillo – La Libertad en el Perú.

El objetivo de estudio fue determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para las mezclas asfálticas en frío elaboradas con asfalto líquido MC-30 y los agregados de las

canteras San Martín y Cerro Campana. La muestra fueron especímenes de concreto asfáltico en frío. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos fueron la prensa Marshall. Y los resultados obtenidos han sido que el porcentaje óptimo de asfalto líquido MC-30 en la cantera San Martin es de 5,41% y de la cantera Cerro Campana es de 5,08%, y de acuerdo con los ensayos realizados en la cantera San Martin se obtiene una estabilidad de 1543 lb (700,58 kgf), y estos resultados cumplen para los de tránsito mediano de carpeta y base, según las especificaciones del Instituto de Asfalto para el diseño Marshall.

Se determinó cuánto varía la resistencia mecánica de la mezcla asfálticas en frío con adición de poliestireno expandido, Gavino (2022) en Huancayo 2021. Demostró esto constituyendo 2 tipos de muestra una con diseño convencional y otra con adición de poliestireno. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que usó fueron fichas de observación para la recopilación de datos y para los experimentos el equipo Marshall.

Y los resultados obtenidos han sido los que aparece en la siguiente Tabla 1, el autor recomienda que se emplee 0.03 % de poliestireno expandido y que se corrobore la densidad.

Tabla 1

Media de los indicadores de resistencia mecánica.

Indicadores	Tradicional	0.01 %	0.02 %	0.03 %	0.04 %
Densidad Bulk (G)	2.28	2.23	2.19	2.18	2.17
Estabilidad (kg-f)	929.00	1471.00	1315.33	1160.67	1235.00
Flujo (mm)	7.20	8.20	11.27	11.63	10.10
Humedad (K)	5.70	1.37	1.33	1.50	1.40
Vacíos (%)	5.20	3.93	4.60	4.90	5.13

Nota. Extraído de los datos obtenidos por el autor Gavido.

Además, se comparó las propiedades fisico-mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente modificada con nano sílice frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 que es un cemento asfáltico modificado con un polímero elastómero del tipo SBS. Santos y Estrada (2021) por medio de especímenes compararon los elaborados con asfalto BETUTEC

PG 70-28 entre un 4 % – 6.5 % con especímenes elaborados con nano sílice entre un 0.5 % - 7.5 %. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que emplearon fueron fichas de laboratorio y para hacer los experimentos se usó la máquina de los Ángeles, horno eléctrico y equipo Marshall. Teniendo los resultados en la tabla 2, teniendo que la mezcla asfáltica con nano sílice tiene mayor estabilidad, mayor flujo y menor resistencia a la tracción indirecta que el BETUTEC PG 70-28.

Tabla 2

Comparación de valores de flujo y estabilidad para probetas al 5.4% de asfalto y al 6.36% de nano sílice.

Estabilidad y flujo Marshall	Mezcla Asfáltica BETUTEC PG 70-28 (5.4% asfalto)	Mezcla Asfáltica Modificada con nano sílice (6.36 % nano sílice)
Estabilidad (KN)	26.85 KN	35.92 KN
Flujo (mm)	8.34 mm	9.24 mm

Nota. Extraído de los datos obtenidos por los autores Danitza & Carlos.

Se determinó si la incorporación de polímeros SBS modifica el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional en la Av. Canta Callao, entre la Av. Naranjal y la Av. Alisos. Kenyi (2019) experimentó 30 especímenes usando el equipo Marshall y el equipo de inmersión a compresión. Y los resultados obtenidos han sido al adicionar polímero SBS a la mezcla asfáltica convencional PEN 60/70 se redujo un 2 % de asfalto requerido, la estabilidad aumenta 2.11 % teniendo 2569 lb, no requiere de aditivo de adherencia adicional, y su rigidez disminuyó un 1.77 % teniendo 3718 kg/cm. La adición del polímero cumple con todos los requisitos mínimos establecidos por las normas MTC.

También determinaron la influencia de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS para la optimización de las propiedades del asfalto, el desempeño y costos de la mezcla asfáltica en climas cálidos y fríos del Perú, año 2021. Alarcon y Cárdenas (2021) recopilaron y compararon investigaciones sobre el uso de polímeros SBS en pavimentos flexibles para climas

cálidos y fríos. Observando que los ensayos de caracterización de asfaltos tanto para el CA-20 (PEN 60/70) y el PEN 120/150, la adición de polímeros entre el 2 % y 4 % en el Asfalto virgen influye en el grado de penetración haciendo que se vuelva más viscoso y menos dúctil a medida que se le va aumentando el porcentaje de polímero. En cuanto al ensayo de recuperación elástica generalmente el asfalto virgen tiene entre 8 % a 13 % mientras que el asfalto modificado llega a una recuperación entre el 60 % y 90 % para zonas cálidas y frías, ósea la recuperación Elástica con la adición de polímeros mejora entre 4 a 11 veces a comparación del asfalto virgen lo cual es de beneficioso, ya que al ser expuestas a cargas de tránsito su desempeño será mejor.

Cuba (2018) investigó la influencia del tiempo de espera para la compactación, en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h en la ciudad de Huancayo en el Perú, tiene como objetivo determinar la influencia del tiempo de espera para compactación sobre las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío. Realizó 140 especímenes que han sido moldeados en campo, en intervalos que varían entre 2h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h, 24h, 36h, 48h y 72h, con la intención de observar alguna diferencia en sus propiedades mecánicas. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que utilizó fue la prensa Marshall, Baño María y el equipo Rice. Los ensayos se han centrado en 3 características: densidad, estabilidad y fluencia en cada una de las briquetas. Los resultados muestran diferencias apreciables en la estabilidad, obteniéndose valores entre 1589.72 kg a 2827.44 kg, los valores más bajos se han observado en el primer tercio de 0 a 12 horas y en el tercer tercio de 36 a 72 horas de la escala de tiempo estudiado, los valores más altos de estabilidad se apreciaron en el tercio central en el periodo de 12 a 36 horas siendo los más altos concentrados de 22 a 24 horas. Sin embargo, las propiedades de fluencia y densidad no se muestra mucha diferencia.

Finalmente, Benites (2022), plantea analizar el efecto de la temperatura de la emulsión

catiónica tipo CSS-1h para imprimación de bases granulares en la ciudad de Huancayo. Para eso tomó 24 briquetas con la mejor dosificación para la dosificación de una buena temperatura con dos tramos de prueba 3x3 m² de mezcla asfáltica. El diseño es método de la investigación es cuantitativo, con un tipo de investigación aplicada, con un nivel de investigación explicativo y un diseño de investigación experimental, se va a considerar una población y muestra, se realizará un análisis más detallado de la temperatura de imprimación en emulsiones asfálticas de rotura lenta lo cual permitirá realizar un grado de correlación entre la temperatura y el grado de penetración sin alterar las propiedades de impermeabilización. Tiene como conclusión que el proceso de imprimación de bases granulares secas con la emulsión catiónica CSS – 1h, la temperatura influye directamente en sus cualidades.

1.2.2. Antecedentes Internacionales

En el estudio realizado por Hong et al. (2019) se centró en rejuvenecer y modificar simultáneamente el asfalto base envejecido a largo plazo y los aglutinantes asfálticos modificados con SBS mediante el uso de un rejuvenecedor compuesto que contenía 77% de aceite aromático y 23% de polímero SBS. La muestra consistió en asfalto base envejecido y aglutinantes asfálticos modificados con SBS. El diseño utilizado fue experimental. Los instrumentos empleados incluyeron pruebas de betún convencionales, prueba reológica de corte dinámico (DSR) y prueba reológica de viga de flexión (BBR). Los resultados obtenidos indicaron que el uso del rejuvenecedor compuesto mejoró el punto de reblandecimiento y la ductilidad tanto del asfalto base envejecido como de los aglutinantes asfálticos modificados con SBS. El efecto de modificación del polímero del rejuvenecedor compuesto se distinguió bien por la región de meseta de las curvas maestras del ángulo de fase. El aceite aromático tuvo un fuerte efecto suavizante sobre el aglomerante asfáltico envejecido, lo que mejoró el rendimiento a bajas temperaturas, pero debilitó el rendimiento a altas temperaturas. La incorporación del polímero SBS fue un buen complemento para equilibrar el rendimiento

general de los ligantes asfálticos rejuvenecidos. En conclusión, el rejuvenecedor compuesto demostró ser altamente efectivo para el reciclaje en caliente de la mezcla asfáltica recuperada mediante el rejuvenecimiento y la modificación simultáneos.

Ghafar y Hassan (2022) se enfocaron en mejorar el rendimiento de la mezcla asfáltica en frío (CMA) mediante la modificación del betún con caucho en trozos de copa (CLR) para la preparación de nuevas emulsiones bituminosas modificadas en trozos de copa (CMBE). La muestra consistió en mezclas asfálticas en frío y betún modificado con CLR. El diseño utilizado fue experimental. Los instrumentos empleados incluyeron pruebas para evaluar propiedades básicas de ingeniería, compatibilidad química, composiciones elementales, propiedades térmicas, microestructuras de fase, morfología de la superficie y características micromecánicas del CMB y sus residuos de evaporación.

Los resultados indicaron que las propiedades básicas del betún modificado con CLR mejoraron, y la emulsificación tuvo cierto impacto en el rendimiento básico. La inclusión de CLR no afectó significativamente los grupos funcionales de CMB. Además, el CLR se dispersó de manera uniforme, resultando en una estructura multifásica estable de CMB y una satisfactoria compatibilidad. La emulsificación no influyó en la composición elemental de los residuos de evaporación de CMB. La estabilidad térmica mejoró con la adición de CLR, y la emulsificación potenció aún más las propiedades térmicas del betún. La modificación y emulsificación de CLR no afectaron de manera significativa la estructura cristalina del betún y sus residuos de evaporación. Por otro lado, los resultados de la microscopía de fuerza atómica revelaron que la adición de CLR aumentó el tamaño de las estructuras de las abejas, lo que previno la oxidación de los componentes químicos y mejoró la capacidad de difusión de las moléculas de betún. Sin embargo, la emulsificación redujo el tamaño y aumentó la formación de estructuras de las abejas, mejorando así las propiedades físicas del residuo de evaporación del betún modificado.

Portilla y Ushiña (2020) determinaron el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en la formulación de mezclas asfálticas en frío. Esto implicó analizar la estabilidad a través del ensayo Marshall, evaluar la resistencia utilizando el ensayo de compresión y comparar los costos de fabricación de adoquines con agregados reciclados y no reciclados, con el propósito de aplicar estas mezclas en vías de liviano y bajo tráfico. Para determinar estos parámetros, se llevaron a cabo pruebas en múltiples probetas, lo que resultó en un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica del 10.5 por ciento para mezclas con agregados reciclados y del 10.3 por ciento para mezclas con agregados no reciclados. Las estabilidades obtenidas fueron de 5250 lb y 4984 lb, respectivamente. Además, se fabricaron 30 adoquines correspondientes a dos tipos de mezclas con tres espesores diferentes (6 cm, 7 cm y 8 cm) con el objetivo de determinar el espesor que ofreciera la mejor resistencia tanto para los agregados reciclados como para los no reciclados. Las resistencias máximas registradas fueron de 38.84 kg/cm^2 para agregados reciclados y 37.66 kg/cm^2 para los no reciclados. En base a estos resultados, se decidió trabajar con el ejemplar elaborado con agregados reciclados de 6 cm de espesor. Adicionalmente, se realizó un análisis de costos finales de los productos, arrojando un valor de USD 0.24 para los adoquines con agregados reciclados y USD 0.39 para los no reciclados. Esto significa que el adoquín con agregado reciclado es considerablemente más económico en comparación con un adoquín tradicional, que tiene un precio de USD 0.35.

Almeida y Segura (2022) diseñaron mezclas asfálticas por medio de 2 tipos de emulsiones diferentes con pavimentos reciclados que doten de las mejores características a la mezcla asfáltica en frío para su uso en carreteras. La muestra estuvo constituida por especímenes. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que se usaron fueron equipo Marshall y equipo ensayo Rice. Y los resultados obtenidos han sido la creación de la vía con la mezcla asfáltica con material reciclado supera por 133 puntos (+) a la creación de la vía con mezcla asfáltica con material virgen, incluyendo la diferencia en el transporte del

material al punto de acopio. Al utilizar material reciclado, se reduce la distancia de acarreo y se disminuyen las emisiones de gases contaminantes de la flota encargada en su transporte.

El material reciclado puede ser utilizado en la Provincia de Pichincha en dos ramas constructivas: la construcción de vías y el mantenimiento. Para la construcción de vías, se estableció como límite a vías de segundo orden o vecinales que sean de tráfico medio o bajo. Sin embargo, se debe tener en cuenta la granulometría generada por la fresadora del material reciclado.

La segunda rama es el mantenimiento, donde el material reciclado tiene algunas funcionalidades y aplicaciones en las vías de la provincia. Se concluye que el uso puede ser en bacheo o recapeo, ya que la mezcla tiene la capacidad de cumplir con las exigencias de Estabilidad y Flujo. Además, se puede realizar en el campo y se aplica al instante, lo que la convierte en una solución rápida y económica para reparar vías, especialmente cuando hay cambios bruscos de clima que pueden retrasar el mantenimiento y operabilidad de la vía, generando molestias en los usuarios.

Correspondiente al uso de fibras Ortegon y Villabon (2018) analizaron el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica modificada mediante la adición de fibras kevlar. La muestra estuvo constituida por especímenes de asfalto. El diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que se usaron fueron equipo Marshall. Y los resultados obtenidos han sido. Tras realizar ensayos de laboratorio en la mezcla asfáltica en frío de referencia (EZ STREET) y en las mezclas modificadas con adiciones de fibras kevlar en porcentajes del 0,10%, 0,15%, 0,20%, 0,25% y 0,30%, se ha observado que la adición de un 0,10% en peso de fibras tiene un efecto negativo en la estabilidad de la mezcla asfáltica, mientras que las muestras sin adición de fibras presentaron un comportamiento óptimo en cuanto a estabilidad.

En cuanto al análisis del flujo en las mezclas asfálticas modificadas con fibras kevlar, se concluye que la adición de estas fibras no es recomendable, ya que no se mantienen las

características mecánicas de la mezcla.

En resumen, la adición de fibras kevlar no es beneficiosa para la mezcla asfáltica y se recomienda verificar las condiciones y características de las fibras a agregar, así como evaluar las condiciones de adición, posiblemente mediante la incorporación de las fibras al asfalto de forma húmeda.

Wu et al. (2022) investigó el uso de rejuvenecedores en mezclas asfálticas en frío con el propósito de contribuir a los esfuerzos de sostenibilidad. A diferencia de la mayoría de las investigaciones previas que se centraron en muestras de laboratorio, esta investigación se enfocó en caracterizar los ligantes asfálticos de campo a corto plazo. Estos ligantes fueron extraídos de la capa superficial de un proyecto de campo en Florida, EE. UU., que empleó una mezcla en frío con pavimento asfáltico 100% recuperado (RAP) y rejuvenecedor.

El estudio incluyó pruebas reológicas realizadas en los aglutinantes RAP extraídos con y sin el rejuvenecedor, con el objetivo de evaluar su clasificación de rendimiento (PG) a altas y medianas temperaturas, la recuperación de fluencia por tensión múltiple (MSCR), el barrido de frecuencia y pruebas de fractura monotónica.

Los resultados obtenidos indicaron que no se observaron diferencias significativas en la resistencia al celo entre el aglutinante de RAP rejuvenecido extraído y el aglutinante de RAP sin rejuvenecer. El aglutinante de RAP rejuvenecido mostró una menor rigidez y mejores propiedades de relajación en comparación con el aglutinante de RAP, lo que sugiere que el rejuvenecedor puede suavizar los aglutinantes reciclados. Además, el aglutinante de RAP rejuvenecido demostró una mayor resistencia a la fatiga y una mayor tensión de falla en comparación con el aglutinante de RAP sin rejuvenecer, lo que sugiere que la adición de rejuvenecedor en el RAP 100% puede restaurar la funcionalidad y flexibilidad de los aglutinantes reciclados durante un período de envejecimiento a corto plazo en campo.

Rivera et al. (2023) se centraron en la posibilidad de utilizar desechos poliméricos, específicamente polipropileno (PP), para crear mezclas asfálticas en frío destinadas a carreteras de baja circulación. El objetivo es generar un agregado artificial llamado "Piedra Polimérica" que pueda reemplazar las fracciones gruesas e intermedias en las bases y capas de rodadura asfálticas. Esto es especialmente relevante en regiones como el centro de Argentina, donde la obtención de agregados naturales es costosa y tiene un alto impacto ambiental. El proceso implica derretir desechos de polipropileno y mezclarlos con una arcilla fina disponible en la región. El material resultante se enfría y se tritura para obtener el agregado artificial. Se realizan pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades de las mezclas, incluyendo la densidad, la resistencia a la deformación permanente, la resistencia a la humedad y la resistencia al agrietamiento. Los resultados sugieren que la mezcla de "Piedra Polimérica" tiene el potencial de ser utilizada en carreteras de bajo tráfico. La mezcla muestra una buena estabilidad, resistencia a la deformación permanente y resistencia a la humedad, lo que la hace adecuada para su uso en estas condiciones. Además, se evalúa su vida útil bajo cargas de fatiga, lo que sugiere que podría soportar un número significativo de cargas de ejes equivalentes. En resumen, este estudio explora la viabilidad de utilizar desechos de polipropileno y arcilla para crear un nuevo tipo de agregado para mezclas asfálticas en frío, que podría ser beneficioso en áreas con limitaciones de recursos naturales y tráfico ligero.

Dash et al. (2022) evaluaron las propiedades de la mezcla asfáltica en frío (CMA) en comparación con la mezcla asfáltica en caliente (HMA) en términos de seguridad, eficiencia en la fabricación y aplicación, sostenibilidad ambiental y rendimiento en aplicaciones viales. La muestra estuvo constituida por una variedad de muestras de CMA y HMA recopiladas en diferentes ubicaciones geográficas, lo que incluyó una amplia gama de tipos de asfalto y condiciones climáticas. El diseño que se utilizó fue un diseño experimental controlado que involucró pruebas de laboratorio detalladas y evaluación de campo para comparar las

características y el rendimiento de CMA y HMA en condiciones variables. Los instrumentos que se usaron en este estudio incluyeron equipos de laboratorio estándar para pruebas de asfalto, así como instrumentación de campo para evaluar el comportamiento de las mezclas de pavimentación en situaciones reales de tráfico y condiciones climáticas. Los resultados obtenidos han sido una mayor comprensión de las ventajas y limitaciones de la mezcla asfáltica en frío en comparación con la mezcla asfáltica en caliente, destacando su potencial para una aplicación más sostenible en la construcción de carreteras y la necesidad de investigaciones futuras para ampliar su uso.

Shanbara et al. (2021) analizaron la importancia de los pavimentos de carreteras en la infraestructura y economía, destacando la necesidad de considerar materiales de construcción más sostenibles. La muestra estuvo constituida por una variedad de fuentes de información, incluyendo estudios previos, datos ambientales y económicos relevantes. El diseño que se utilizó fue un enfoque de revisión y análisis de la literatura científica y técnica disponible. Los instrumentos que se usaron incluyeron revisión de documentos, análisis de datos y revisión de avances tecnológicos en la fabricación de pavimentos. Los resultados obtenidos han sido la identificación de la prometedora tecnología de mezcla asfáltica en frío (CMA) como una opción ecológica y económica en la construcción de pavimentos, resaltando la necesidad de abordar los desafíos relacionados con su sensibilidad al tráfico y al estrés ambiental.

Tedla (2023) investigó los efectos de diferentes niveles de compactación en las mezclas de mezcla asfáltica en frío (CMA) que contienen pavimento asfáltico reciclado (RAP) en su rendimiento y resistencia a la tracción. La muestra estuvo constituida por muestras de CMA preparadas con un 60% de RAP y emulsión de fraguado lento, las cuales se compactaron en diferentes niveles de huecos de aire (6%, 8%, 10% y 12%). El diseño que se utilizó fue un diseño experimental en el que se varió el nivel de compactación de las muestras de CMA.

Los instrumentos que se usaron incluyeron un compactador giratorio Superpave (SGC)

para la compactación, pruebas de índice de resistencia a la tracción (TSR), pruebas de resistividad al daño por humedad, prueba de seguimiento de ruedas de Hamburgo (HWTT), pruebas de estabilidad y flujo de Marshall, y pruebas de pérdida de masa de Cantabro (CML).

Los resultados obtenidos han sido que las muestras de CMA con diferentes niveles de huecos de aire mostraron variaciones en su rendimiento y resistencia a la tracción, con algunas de ellas no cumpliendo con los valores umbral. Además, se observó una influencia en la formación de roderas y despojo según el nivel de compactación. Las pruebas de estabilidad, flujo y capacidad de carga también revelaron diferencias significativas. Por último, se encontró que los hallazgos de este estudio proporcionan información importante sobre cómo los vacíos de aire en CMA afectan su rendimiento.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Objetivo General: Determinar el diseño óptimo de mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS – filler cemento para mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.

1.3.2. Objetivo Específico

Objetivo Específico 1: Describir cómo se ha determinado la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío antes de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.

Objetivo Específico 2: Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados saturados superficialmente secos.

Objetivo Específico 3: Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.

Objetivo Específico 4: Comparar el incremento de la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.

1.4. Justificación

La construcción de una vía asfaltada contribuirá al crecimiento urbano y al desarrollo económico de la población local. Además, proporcionará empleo para los pobladores de la zona. También aumentará la valoración de los predios, lo que puede generar mayores créditos en las transacciones financieras.

Tiene justificación económica porque la carpeta de rodadura será durable, al ser durable la vida útil aumentará por consiguiente se reduce los costos de mantenimiento. Así mismo, se reducirán los costos de operación vehicular.

Tiene justificación teórica porque autores que han abordado el tema de los asfaltos en frío y el medio ambiente en investigaciones previas. Sin embargo, esta investigación busca complementar y aumentar el conocimiento existente en esta línea, brindando una mayor comprensión del diseño de asfaltos en frío.

Tiene justificación práctica porque los diseños propuestos son viables y aptos para ser construidos, lo que respalda la implementación práctica de la vía asfaltada.

Tiene una justificación ambiental porque los métodos tradicionales de mezcla asfáltica en caliente generan altas emisiones energéticas. El uso de emulsiones modificadas en mezclas asfálticas en frío reduce estas emisiones, ya que trabajan a temperaturas más bajas (menores a 80 °C).

Tiene justificación investigativa porque propuestas planteadas en el estudio ofrecen una base sólida para futuras investigaciones, ampliando el conocimiento en el campo de los asfaltos en frío y su sostenibilidad ambiental.

1.5. Hipótesis

En el marco de la presente investigación, se plantean tres hipótesis específicas que están relacionadas con la evaluación de la estabilidad de las mezclas en condiciones de humedad. La primera hipótesis específica busca comparar la estabilidad de las mezclas en frío utilizando agregados con humedad natural en contraposición a agregados saturados superficialmente secos. La segunda hipótesis, similar a la primera, introduce la variable del polímero SBS en la mezcla en frío. En la tercera hipótesis, que guarda similitud con la segunda, se añade el componente de filler de cemento a la ecuación.

La hipótesis principal, por su parte, tiene como objetivo central contrastar y analizar todos los resultados obtenidos en relación a las tres hipótesis específicas mencionadas. A través de esta hipótesis principal, se pretende obtener una visión global y concluyente sobre el impacto de las distintas condiciones de mezcla, incluyendo la humedad de los agregados, la presencia del polímero SBS y la incorporación del filler cemento, en la estabilidad de las mezclas en frío.

Hipótesis Principal: Determinado el diseño óptimo de diseñar mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS – filler cemento mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.

Hipótesis Específica 1: Mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados superficialmente secos.

Hipótesis Específica 2: Mejorará de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS

Hipótesis Específica 3: La durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero SBS – filler cemento incrementará.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Pavimento

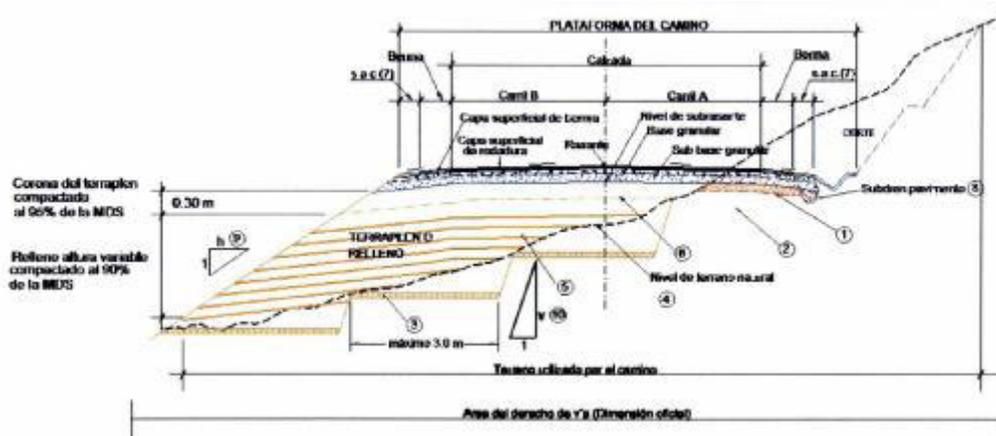
El pavimento es la superficie construida en una carretera, calle, camino o cualquier otra vía de tránsito, que permite el desplazamiento de vehículos y peatones. El pavimento está diseñado para soportar cargas, proporcionar una superficie uniforme y segura para el tránsito, y proteger la base del suelo de la erosión y el desgaste.

Según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (R.D. N°10-2014-MTC/14, 2014), el pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

La capa de rodadura es la parte superior de un pavimento, que puede ser tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines (semirrígido), cuya función es sostener directamente el tránsito.

Figura 6

Sección transversal de la infraestructura del camino



Fuente: Extraído del Manual de Caminos Sección suelos y pavimentos (R.D. N°10-2014-MTC/14, 2014)

2.1.2. *Cemento asfáltico*

El cemento asfáltico, también conocido como asfalto o betún, es un material viscoso y pegajoso que se utiliza como ligante en la construcción de carreteras y pavimentos. Se obtiene a partir de la destilación del petróleo crudo, y su composición química es una mezcla compleja de hidrocarburos.

El ASTM lo define como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido, y cuando su temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente durante la mezcla.

El cemento asfáltico es ampliamente utilizado en la construcción de carreteras debido a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y soportar cargas pesadas de tráfico.

Figura 7

Cemento asfáltico PEN 60/70 para pavimento concreto asfáltico en caliente.



Nota. *Muestra a temperatura ambiente de 21°C.* Fuente: Fotografía propia.

2.1.3. Comportamiento mecánico del cemento asfáltico

La naturaleza del asfalto es termoplástica, esto quiere decir que se ablandan al calentarse y se vuelven a endurecer al enfriarse, su comportamiento depende del tiempo y la temperatura. De acuerdo con Minaya y Ordoñez (2012) el asfalto también tiene una naturaleza viscoelástica. El asfalto a altas temperaturas tiene menor rigidez. A medida que la temperatura descende el asfalto se vuelve más rígido. A temperaturas muy bajas el asfalto puede agrietarse porque se vuelve frágil y quebradizo.

En climas cálidos o sometido a cargas de tráfico lentas, el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas. Con esta condición la estructura granular de la mezcla asfáltica cumple un papel muy importante. El asfalto solo es el aglutinante.

En climas fríos o bajo aplicación de carga rápida, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico. Los sólidos elásticos son como ligas porque cuando cesa la carga que los deforma, regresa a su posición original.

Si el material se esfuerza más allá de su capacidad, el sólido elástico puede romperse. El agrietamiento por bajas temperaturas algunas veces ocurre en los pavimentos cuando están sometidos a climas fríos, caso que no se tocará en la presente investigación. En estos casos, las cargas aplicadas producen esfuerzos internos que se acumulan en el pavimento asfáltico que tenderá a contraerse mientras su movimiento es restringido por las capas inferiores.

Los esfuerzos en la carpeta asfáltica se refieren a las fuerzas y tensiones que se generan en la superficie del pavimento debido a la carga del tráfico y a las condiciones climáticas. Estos esfuerzos pueden causar deformaciones, fisuras y otros daños en la superficie del pavimento, lo que puede afectar su durabilidad y seguridad.

En la carpeta de rodadura predominan los esfuerzos horizontales y de tracción.

2.1.4. Emulsión asfáltica

Según el Manual MS-19 (2004) la emulsión asfáltica es una mezcla de cemento asfáltico, agua y agente emulsivo. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o agentes de control de rotura.

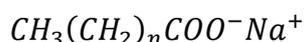
Algunos principios físicos y químicos que se aplican en la formulación, producción y uso de emulsiones asfálticas es lograr una dispersión estable de cemento asfáltico – agua, suficientemente bombeable, almacenada durante tiempo prolongado y mezclada. Mas aun, la emulsión deberá romper rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador.

Al curar, el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la resistencia al agua propias del cemento asfáltico con el cual fue elaborado.

2.1.4.1. Agente emulsivo. El agente emulsivo es, de los componentes individuales de la emulsión asfáltica, el más importante. Para que el agente emulsivo sea eficaz, el surfactante debe ser soluble en agua y poseer un adecuado equilibrio entre las propiedades hidrofílicas y lipofílicas.

2.1.4.2. Surfactantes: Los surfactantes son clasificados según sus características de disociación en el agua:

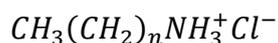
A. Surfactante aniónico. Los hidrocarburos están cargados negativamente.



B Surfactante no-iónicos. Los hidrocarburos se disuelven sin ionización.



C Surfactante catiónico. Los hidrocarburos están cargados positivamente.



2.1.5. *Asfaltos modificados*

La modificación asfáltica es el proceso de agregar aditivos a la mezcla de cemento asfáltico con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Estos aditivos pueden ser polímeros, elastómeros, fibras u otros materiales que se agregan al cemento asfáltico antes de su aplicación.

La modificación asfáltica se utiliza para mejorar las características del pavimento, como la resistencia a la fatiga, la durabilidad, la resistencia a la deformación permanente, la capacidad de recuperación elástica, y la resistencia a la humedad y la oxidación. También se puede utilizar para reducir la temperatura de aplicación del asfalto, lo que reduce el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Existen diferentes tipos de modificadores asfálticos, cada uno diseñado para mejorar propiedades específicas del pavimento. Por ejemplo, los polímeros se utilizan para mejorar la resistencia a la deformación permanente, mientras que las fibras se utilizan para mejorar la resistencia a la fatiga y la capacidad de recuperación elástica.

La modificación asfáltica se ha convertido en una técnica muy popular en la construcción de carreteras y pavimentos debido a los beneficios que aporta en términos de durabilidad, rendimiento y sostenibilidad.

2.1.6. Polímeros

Los polímeros en el asfalto modificado son materiales que se agregan a la mezcla de cemento asfáltico para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Los polímeros son macromoléculas que se componen de repetidas unidades estructurales, lo que les da características únicas, como la capacidad de mejorar la elasticidad y la resistencia de la mezcla de asfalto.

En el asfalto modificado con polímeros, se agregan polímeros sintéticos o naturales a la mezcla de asfalto para mejorar sus propiedades, tales como la resistencia a la fatiga, la resistencia a la deformación permanente, la durabilidad y la capacidad de recuperación elástica. Los polímeros se mezclan con el cemento asfáltico a altas temperaturas para formar una mezcla uniforme que se utiliza en la construcción de pavimentos.

Los polímeros más comúnmente utilizados en el asfalto modificado son el estireno – butadieno – estireno (SBS) y el estireno – butadieno (SB). El SBS es un polímero termoplástico que se utiliza para mejorar la flexibilidad y la resistencia a la fatiga del asfalto modificado. El SB es un copolímero que se utiliza para mejorar la capacidad de recuperación elástica del asfalto modificado.

Según Minaya y Ordoñez (2012) el principal motivo de utilizar modificadores de caucho es incrementar la rigidez de la mezcla a altas temperaturas, volverlo más elástico y resistente al agrietamiento por fatiga a temperaturas intermedias de servicio y no modificar su rigidez a bajas temperaturas de servicio para resistir el agrietamiento térmico.

Los dominios poliestirénico se funde encima de los 90°C y el dominio polibutadiénico torna rígido próximo a los -90°C por lo que es usado en zonas de alta y baja temperatura.

2.1.7. Selección del tipo y grado correcto de la emulsión asfáltica según MS-19 Emulsiones asfálticas

Esta sección es el resumen de lo establecido en el Manual N° 19 Manual básico de emulsiones asfálticas de la AEMA. (Manual MS-19, 2004)

2.1.7.1. Función que se le dará a la emulsión

Para un comportamiento exitoso para la función buscada uno se deberá preguntar:

A. *¿Se trata de un riego de sellado (seal coat), de una mezcla en planta (central o in-situ), una mezcla reciclada o una imprimación (prime coat)?*

B. *¿Es para una aplicación de superficie, como tratamiento superficial (chip seal), riego pulverizado (foag seal), lechada asfáltica (slurry seal) o micro-aglomerado (micro-surfacing)?*

C. *¿Es para un mantenimiento?*

2.1.7.2. Factores que afectan a la emulsión

Una vez tomada la decisión, otras variables a considerar que afectan directamente a la emulsión son las siguientes:

Las consideraciones climáticas previstas para la etapa constructiva. Las condiciones durante dicha etapa deberían imponer la elección del grado, el diseño de la mezcla o tratamiento y la selección de la maquinaria de construcción.

- A. *Tipo de agregado, granulometría y disponibilidad*
- B. *Disponibilidad de equipos*
- C. *Ubicación geográfica. La distancia de transporte y, en algunos casos, la disponibilidad de agua son consideraciones de importancia.*
- D. *Control de tráfico. En el área de trabajo, ¿puede el tránsito ser derivado o solo puede controlárselo?*
- E. *Consideraciones ambientales*

Si bien se pueden ofrecer pautas generales para la selección de emulsiones, se recomiendan vehementemente los ensayos de laboratorio. No hay nada que reemplace la evaluación en laboratorio de la emulsión y el agregado.

Figura 8

Ebullición del RC-250 y la emulsión CSS-1hP SBS.



Nota: Al calentar los dos recipientes a una misma temperatura a la izquierda el RC-250 se observa como la gasolina se empieza a evaporar; y a la derecha, el burbujeo del agente emulsificante. Fuente: Propia.

2.1.7.3. Usos generales de la emulsión

A. **Emulsión rotura rápida (*rapid-setting*)**. Para aplicación de riego, tratamiento superficial, sellados con arena y tratamiento de superficie. Grados RS-2, HFRS-2 y CRS-2 son de alta viscosidad evitan el escurrimiento. Versiones modificadas con polímeros son para tráfico intenso, cargas pesadas y mínimo control de tráfico.

B. **Emulsión rotura media (*medium-setting*)**. Se mantienen trabajables algunos minutos a varios meses. Se usa para reciclado en frío. MS-2, CMS-2 y HFMS-2. La emulsión de alta flotación (*high float*) tiene una estructura gel que lo hace menos susceptible a cambios de temperatura y muy resistente a fluir a altas temperaturas durante el verano. La modificación de la emulsión se emplea cuando se requiere mayor estabilidad o durabilidad o una resistencia mayor a la humedad.

C. **Emulsión rotura lenta (*slow-setting*)**. Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados periodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Estas mezclas o se diseñada para ser acopiadas Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede bajar más con el agua. Diluidos, estos grados pueden ser usados para riegos de liga (*tack coat*) y riego pulverizado (*fog seal*) y como paliativos de polvo.

Se aplica en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas y algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas (*slurry seal*). Las emulsiones de rotura lenta modificada con polímero pueden ser utilizadas cuando requieren una estabilidad adicional de la mezcla o una mayor ligazón, esto último en el caso de riegos de liga o riego pulverizado.

Tabla 3*Usos generales de las emulsiones asfálticas.*

Tipo de construcción	ASTM D997 AASHTO M208						ASTM D2397 AASHTO M 140						
	RS-1	RS-2	HFRS-2	MS-1, HFMS- MS-2, HFMS-	MS-2h, HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de asfalto y agregados													
Mezcla en planta (en caliente)					X ^A								
Granulometría abierta				X	X					X	X		
Granulometría cerrada						X	X	X				X	X
Arena						X	X	X				X	X
Granulometría abierta				X	X					X	X		
Agregado bien graduado						X	X	X				X	X
Arena						X	X	X				X	X
Suelo arenoso						X	X	X				X	X
Aplicaciones de asfalto y agregado													
Tratamiento superficial	X	X	X						X	X			
Sellado con arena (Sand seal)	X	X	X	X					X	X			
Lechada asfáltica (Slurry seal)						X	X	X				X	X
Micro-aglomerado (Micro-surfacing)													X ^E
Sellado doble (Sandwich seal)		X	X						X				
Cape Seal		X							X				
Aplicaciones asfálticas													
Riego pulverizado (Fog seal)				X ^B			X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Imprimación (Prime coat)					X ^D		X ^D	X ^D				X ^D	X ^D
Riego de liga (Tack coat)				X ^B			X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Paliativo de polvo (Dust palliative)							X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Protección con asfalto (Mulch treatment)							X ^C	X ^C				X ^C	X ^C
Sellado de fisuras (Crack filler)							X	X				X	X
Mezclas de mantenimiento													
Uso inmediato						X				X	X		
Acopio						X							

Nota. Para el diseño de mezcla en frío se tomará la emulsión catiónica de rotura lenta CSS-1h. Será almacenada a temperatura entre 10°-60° C. Fuente: Extraído de (MS-19, 2004)

2.1.8. *Cemento Tipo Portland*

El término "cemento Portland" es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. (Frederick, 1988)

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las propiedades generales en que intervienen son: (Adam, 1977)

Tabla 4

Composición química del cemento Portland.

	Componente químico	Procedencia usual	Porcentaje típico	Abreviatura
95 %	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas calizas	61 % – 67 %	C
	Óxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas	20 % – 27 %	S
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas	4 % – 7 %	A
	Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita	2 % – 4 %	F
5 %	Óxido de Azufre		1 % – 5 %	
	Óxido de Magnesio	Minerales	1 % – 3 %	
	Potasio, sodio, fósforo, titanio, manganeso	Varios	0.25 % - 1.5 %	

Fuente: Extraído de Tópicos de tecnología del concreto (Pasquel Carbajal, 1999)

El cemento Portland es conocido por su capacidad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua, lo que lo hace adecuado para la construcción de estructuras de concreto. Es utilizado en una amplia gama de aplicaciones, como edificios, puentes, pavimentos, presas y muchos otros proyectos de ingeniería civil.

2.1.9. Apéndice F. Método Marshall para el diseño de mezclas en frío de agregado – emulsión asfáltica (MS-14 Asphalt cold mix)

Este método de diseño para mezclas de agregados con emulsión asfáltica en frío para pavimentos está basado en investigaciones hechas en la Universidad de Illinois usando un método de Marshall modificado de diseño de mezclas y un ensayo de durabilidad ante la humedad. El método y los criterios de ensayo recomendados son aplicables a mezclas para bases de caminos pavimentados de bajo volumen de tráfico, que contienen algún grado de emulsión asfáltica y un agregado mineral de gradación densa con tamaño máximo de 1” (25 mm) o menor. El diseño se recomienda para mezclas en la carretera o mezclas en planta, preparadas a temperatura ambiente. Los procedimientos intentan simular las condiciones de campo reales lo más fielmente posible.

La metodología Marshall se basa en la selección de un rango de proporciones de agregado y asfalto, que se mezclan y compactan para formar probetas cilíndricas. Estas probetas se someten a una serie de pruebas de laboratorio para evaluar su estabilidad, flujo, densidad y vacíos.

2.1.10. Método de diseño de mezclas (MS-19 Emulsiones asfálticas)

Según el Manual MS-19 (2004) no hay un método universalmente aceptado para el diseño de mezclas en frío de emulsión asfáltica y agregados, sean aquellas de granulometría cerrada o de granulometría abierta. Sin embargo, casi todos los métodos para mezclas cerradas son modificaciones del método Hveem (ASTM D 1560 y 1561) o del método Marshall (ASTM D 1599).

Este método está destinado a mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un tamaño máximo de agregado de 25 mm (1 pulgada) o menos y emulsiones de roturas media o lenta. Es aplicable a mezclas elaboradas en el camino o en planta, a temperatura ambiente, y de colocación inmediata o acopiadas para ser usadas más tarde.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es una investigación experimental y descriptiva.

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que busca describir, explicar, verificar y predecir fenómenos mediante el uso de datos numéricos y análisis estadísticos. Además, se aplica la lógica de lo general a lo particular. La recolección de datos se lleva a cabo utilizando instrumentos estandarizados que han demostrado ser válidos y confiables en estudios anteriores y cumplen con los estándares internacionales. En resumen, la investigación utiliza un enfoque riguroso y sistemático para obtener resultados precisos y confiables.

3.2. Ámbito espacial y temporal

3.2.1. Espacial

El ámbito espacial del estudio se hará en los laboratorios de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Universidad Ricardo Palma, JBO Ingenieros S.A.C. y planta de asfalto SEOING E.I.R.L., se gestionó los permisos y el uso de laboratorios respetando las normas y reglamentos del laboratorio.

Los agregados, la arena es de la empresa Excalibur, la piedra es de la cantera SEOING E.I.R.L. y las emulsiones son de TDM asfaltos S.A.C.

El estudio está limitado para la Av. Cordillera Negra que corresponde una vía local según el reglamento nacional de edificaciones, CE. 010 pavimentos Urbanos, sin embargo, esta vía pasa un tránsito pesado aproximadamente de 25 vehículos pesados al día para llegar a la vía principal que hace llegar a Huaylas.

Asimismo, el siguiente estudio solo se enfocará en la carpeta de rodadura no aborda el diseño de la base y subbase.

3.2.2. *Temporal*

El ámbito temporal de la presente investigación es el año 2023.

3.3. Variables

3.3.1. *Variable Independiente*

Mezcla Asfáltica en Frío con polímero Tipo SBS y filler cemento.

3.3.1.1. **Contenido de humedad del agregado.**

3.3.1.2. **Polímero tipo estireno – butadieno – estireno (SBS).**

3.3.1.3. **Filler cemento.**

3.3.2. *Variable Dependiente*

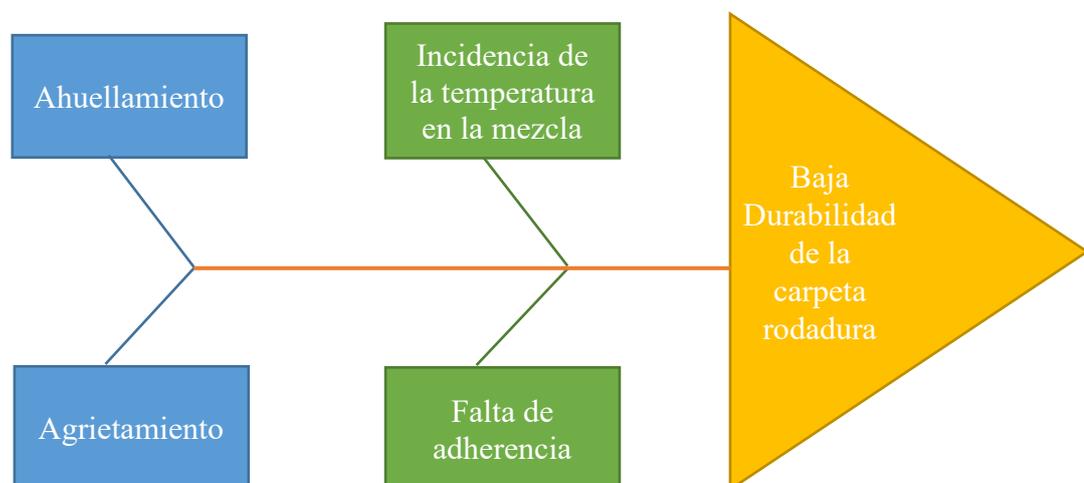
Durabilidad de la carpeta de rodadura.

3.3.2.1. **Diagrama Ishikawa**

Se encontró que los problemas principales de una carpeta de rodadura son problemas de ahuellamiento, agrietamiento, falta de adherencia y la incidencia de la temperatura. Con los parámetros de estabilidad, flujo, adherencia y la incidencia de la temperatura en la mezcla se podrá diseñar un pavimento resistente a las solicitaciones y de calidad.

Figura 9

Análisis de la causa – efecto con la herramienta Espina Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Población y muestra

La población son los especímenes de concreto asfáltico en frío.

Figura 10

Especímenes de concreto asfáltico en frío.



Fuente: Fotografía propia tomada en la Universidad Ricardo Palma.

3.5. Instrumentos

Los instrumentos son los equipos siguientes baño María, equipo Rice, Prensa Marshall, calorímetro. Los equipos han sido calibrados el 17/05/2023. Los equipos son de la Planta de Asfalto SEOING E.I.R.L., del laboratorio JBO Ingenieros S.A.C y de Industrias Ulmen S.A. Sucursal Perú.

3.6. Procedimientos

Se extraerá el agregado grueso de la cantera la SEOING E.I.R.L. y la arena de Excalibur. Los agregados serán ensayados extrayendo sus propiedades físicas entre estos ensayos están:

- ❖ Muestras representativas (cuarteo) Método B (MTC E 105).
- ❖ Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107).
- ❖ Contenido de humedad de un suelo (MTC E 108).

- ❖ Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E 202).
- ❖ Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205).
- ❖ Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206).
- ❖ Partículas chatas y alargadas en agregados (MTC E 223).

El manual de carreteras cuenta con requerimientos mínimos que deben tener los agregados. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5

Requerimientos de alto tránsito para agregados.

Ensayo	Norma	Requerimiento alto tránsito		
		Agregado grueso	Agregado fino	Gradación combinada
Desgaste de Los Ángeles	MTC E 207	25% máx.		
Desgaste Micro – Deval	ASTM D 7428	25% máx.		
10 % de finos (KN)	Seco Relación húmeda/seco		110 mín.	
			75% mín.	
Pérdidas en ensayos de solidez	Sulfato de sodio		12% máx.	12% máx.
	Sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	18% máx.
Partículas fracturadas mecánicamente (1 cara/2 caras)	MTC E 210	85% / 70 % Mín.		
Angularidad	ASTM D 1252		45 % mín.	
Coefficiente de pulimiento acelerado	UNE 146130	0.45 mín.		
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10 % máx.		
Índice plástico	MTC E 111			N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114			50 % mín.
Adhesividad Resistencia conservada inmersión - compresión				75 % mín.

Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas (R.D. N°22-2013-MTC/14, 2013).

Los otros ensayos están adjuntos en la granulometría, ensayos que fueron realizados previamente por la empresa SEOING E.I.R.L.

La emulsión asfáltica y la emulsión asfáltica modificada con polímero SBS será solicitada a TDM Asfaltos S.A.C.

Figura 11

Adquisición de emulsiones asfálticas en la planta TDM Asfaltos.



Fuente: Fotografía propia.

El filler cemento será cemento Portland tipo I y se comprará al distribuidor más cercano al mismo día de realizado el ensayo.

Obteniendo las características físicas de los materiales y de la emulsión se procede a hacer el diseño de mezcla. Para el diseño de mezcla se usó como referencia el Manual básico de emulsiones asfálticas MS-19.

El manual te da la siguiente expresión para obtener el contenido tentativo.

$$\%Emulsión = \frac{[(0.07 \times B) + (0.03 \times C)]}{A} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo:

A: % de residuo de emulsión por destilación

B: % de agregado seco que pasa por el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C: 100 – B: % de agregado seco retenido por el tamiz N° 4 (4.75 mm)

Así mismo se evaluó otras alternativas de mezcla tentativa es el método de laboratorio de puentes y calzadas (L.P.C.):

$$S.E. = \frac{1}{100} (0.237G + 1.60g + 12.85A + 117.8F) \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

G: % entre la malla 19.05 mm y 4.76 mm

g: % entre la malla 4.76 mm y 0.420 mm

A: % entre la malla 0.420 mm y 0.074 mm

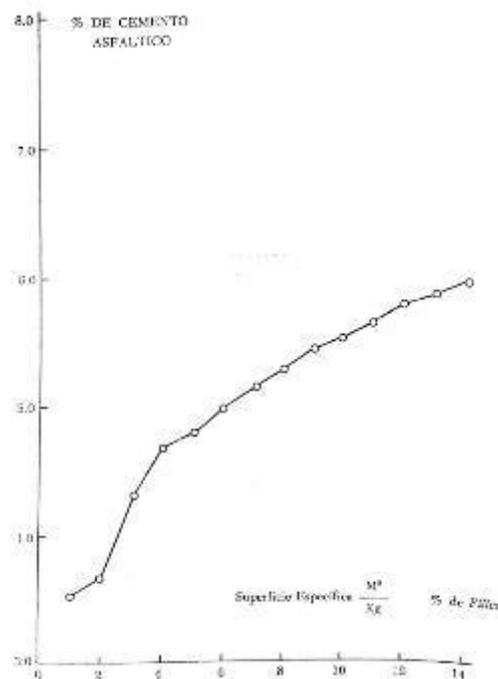
F: % pasa la malla 0.074 mm

Luego con el valor de S.E. se ingresa a una gráfica para obtener el porcentaje de cemento asfáltico cerca al óptimo.

Otra opción menos precisa es ingresar lo que pasa en la malla 0.074 mm directamente a la gráfica.

Figura 12

Gráfico de M. Duriez, superficie específica vs porcentaje de cemento asfáltico.



Fuente: Gráfica extraída del libro de Rivera E. (1998).

Ambas opciones luego tendrán que transformarse al porcentaje de la emulsión (%E):

$$\%E = \frac{\%Calculo\ del\ asfalto}{\%Residuo\ emulsión} \quad \text{Ecuación 3}$$

Por último, hay un método del Instituto de Asfalto (EU):

$$\%E = \frac{0.032a + 0.045b + kc + K}{\%Residuo\ emulsión} \quad \text{Ecuación 4}$$

E: % Óptimo teórico de cemento asfáltico.

a: % Retenido en la malla 2.00 mm.

b: % entre las mallas 2.00 mm y 0.074 mm.

c: % pasa la malla 0.74 mm.

k: 0.20 si el valor de (c) está entre 11 y 15%.

0.18 si el valor de (c) está entre 6 y 10%.

0.15 si el valor de (c) es menos del 5%.

K: Puede variar de 0.0 a 2.0 según el tipo de material pétreo y su absorción.

Cualquiera de estas 4 formas presentadas te da un contenido aproximado que luego se irá corrigiendo conforme se realicen los ensayos.

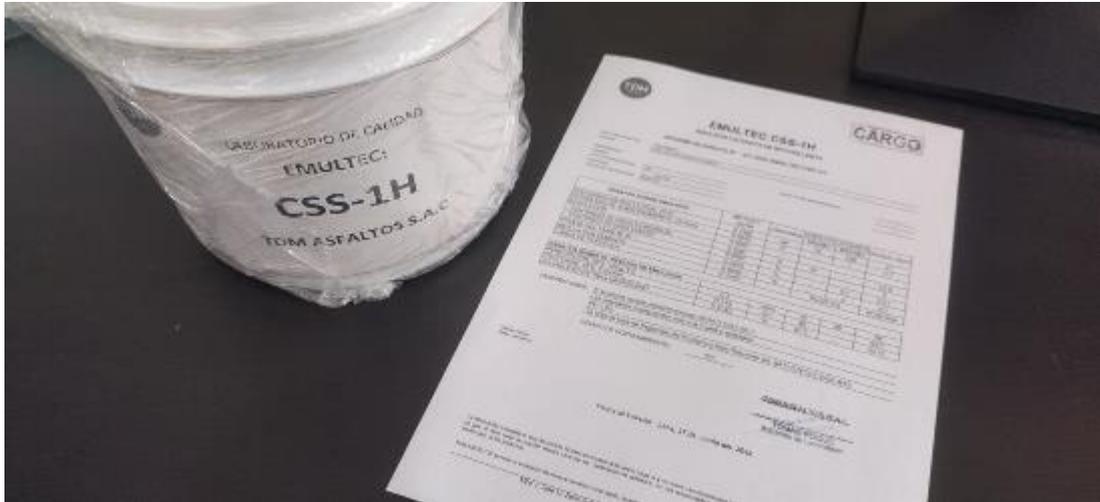
Con el contenido tentativo de emulsión se probará con diferentes contenidos de agua, con un incremento de agua hasta encontrar el que visualmente tenga mejor comportamiento y adherencia. Luego le mezclará los insumos fabricándose 15 testigos de emulsión CSS-1h con agregados con humedad natural con una variación en el contenido de emulsión del 1%. La tanda de mezcla será convencional, es decir, emulsión – agregados, con el objetivo de responder la primera pregunta específica y tener un patrón. Se obtendrá las 6 curvas (% Vacíos, %Vacíos de agregado mineral, %Vacíos llenos de asfalto, densidad, estabilidad y flujo vs % Residuo asfáltico).

La segunda mezcla será emulsión CSS-1h con agregado superficialmente seco esto con el fin de optimizar ligante, el agua estará dentro del agregado y el ligante cubrirá la superficie

seca, de tal forma que cumpla su función de liga de agregado a agregado.

Figura 13

Emulsión catiónica de rotura lenta – baja viscosidad de consistencia dura (CSS-1h).

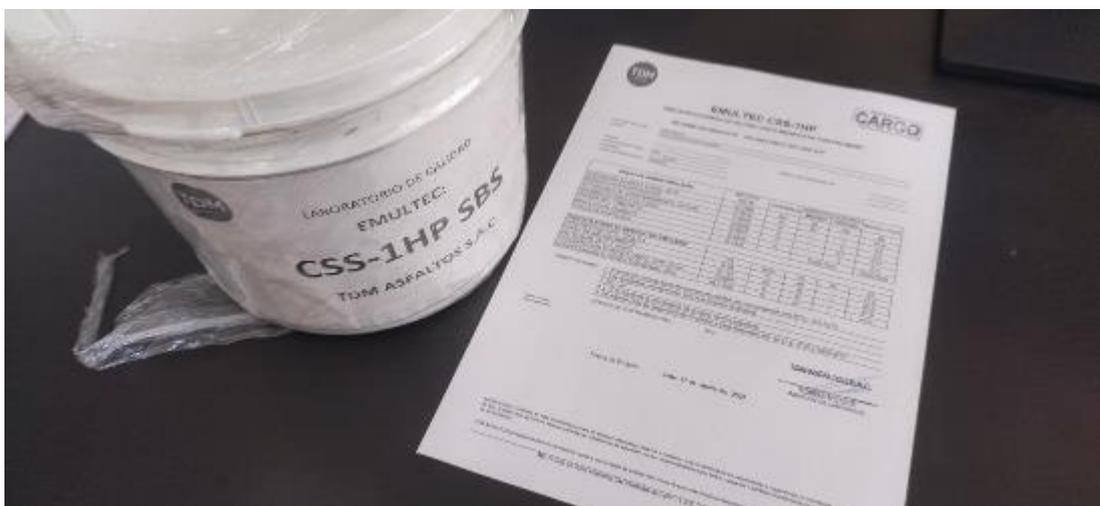


Fuente: Fotografía propia.

La tercera mezcla será con modificación asfáltica, emulsión – polímero SBS – agregados. Al igual que el procedimiento convencional con 15 testigos para el óptimo contenido de ligante asfáltico, con el fin de obtener la curva comparación.

Figura 14

Emulsión catiónica de rotura lenta – baja viscosidad de consistencia dura modificada con polímero tipo estireno – butadieno – estireno (CSS-1hP SBS).



Fuente: Fotografía propia.

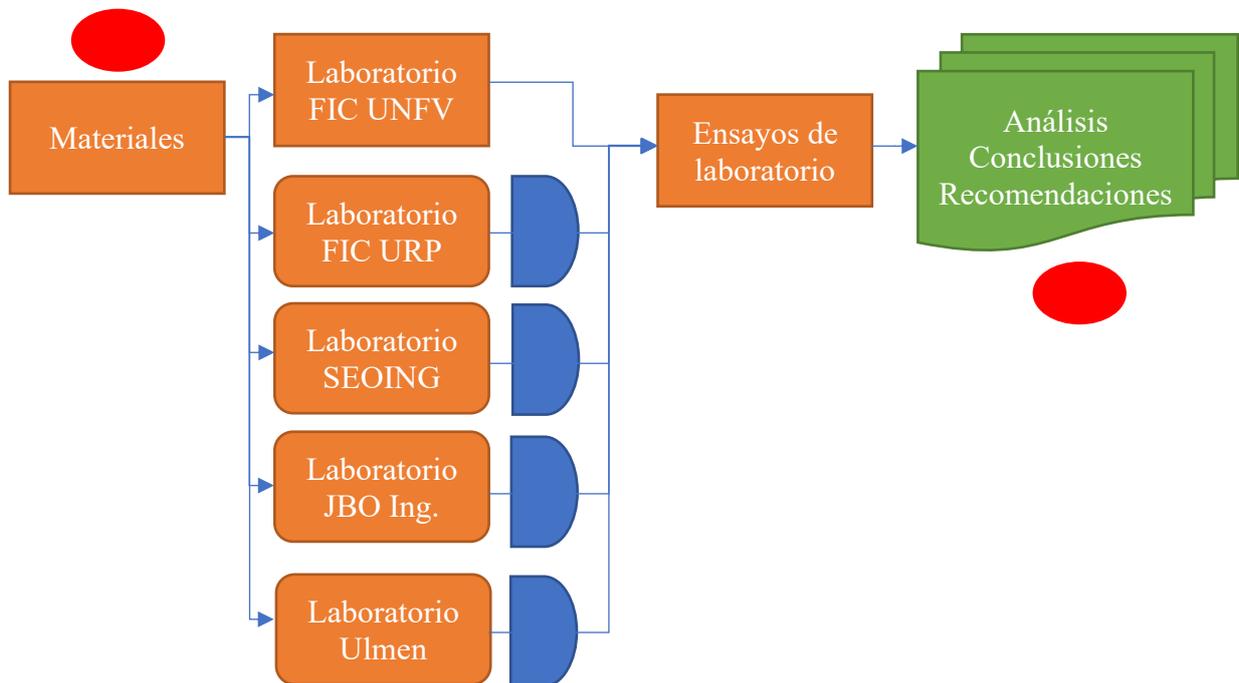
Finalmente, a la mezcla óptima modificada con polímero SBS se le añadirá cemento Portland tipo I, con el fin de observar la incidencia térmica y mecánica que tiene el cemento a la mezcla asfáltica. Para evaluar la incidencia térmica se utilizará el estándar ASTM C 1679-08.

Todos los procedimientos de ensayo de materiales y ensayo de testigos son respaldados por las normas vigentes de ensayo de materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MS-19 Emulsiones asfálticas y el apéndice F MS-14 Mezclas en frío desarrollado por la universidad de Illinois.

3.6.1. Flujograma

Figura 15

Flujograma de avance del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis de datos

Los resultados serán presentados a través de gráficas y líneas de tendencia, lo cual permitirá una mejor visualización y análisis de los datos obtenidos para poder realizar ajustes y correcciones en las mezclas. Luego se contrastará las hipótesis usando el software IBM SPSS Statistics 25, se comprobará que cumplan la normalidad con el nivel de significancia que resulte del método Shapiro-Wilk (cantidad de muestras por curva < 30) y finalmente se validará las hipótesis con el T-student para muestras relacionadas.

3.8. Consideraciones éticas

Todas las imágenes publicadas en la siguiente investigación serán con la autorización y consentimiento de la persona captada. Asimismo, las imágenes y videos que estén publicadas dentro de la presentación de la sustanciación tendrán la autorización correspondiente.

Se respetará los derechos de autor de investigaciones pasadas con el uso de Normas APA en su séptima edición.

IV. RESULTADOS

4.1. Ensayo de los materiales

Se tamizó 600 g de arena y 2193 g de piedra proveniente de la cantera Excalibur y SEOING, respectivamente.

Tabla 6

Análisis granulométrico del agregado fino (MTC E 204).

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	% Acumulado retenido	% Acumulado que pasa	Descripción de la muestra
3"	75.000		0.0%	0.0%	100.0%	Nombre de la cantera
1 1/2"	37.500		0.0%	0.0%	100.0%	Arena chancada - Cantera Excalibur
3/4"	19.000		0.0%	0.0%	100.0%	Peso inicial 600.0 g seco:
1/2"	12.700		0.0%	0.0%	100.0%	
3/8"	9.500		0.0%	0.0%	100.0%	(ASTM D2419)
N°4	4.750	1.2	0.2%	0.2%	99.8%	Equivalente de arena
N°8	2.360	120.0	20.0%	20.2%	79.8%	65.00%
N°16	1.100	166.2	27.7%	47.9%	52.1%	(AASHTO TP 57)
N°30	0.600	99.6	16.6%	64.5%	35.5%	Azul metileno
N°50	0.300	67.2	11.2%	75.7%	24.3%	6 mg/g
N°100	0.150	51.0	8.5%	84.2%	15.8%	% Grava 0.2%
N°200	0.075	31.8	5.3%	89.5%	10.5%	% Arena 89.3%
<N°200		63.0	10.5%	100.0%	0.0%	% Fino 10.5%

Fuente: Propia.

Figura 16

Tamizaje de la arena.



Nota. Fotografía tomada en las instalaciones de la Universidad Ricardo Palma.

Tabla 7

Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204).

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	% Acumulado retenido	% Acumulado que pasa	Descripción de la muestra
3"	75.000		0.0%	0.0%	100.0%	Nombre de la cantera
1 1/2"	37.500		0.0%	0.0%	100.0%	Piedra Chancada <3/4" - Cantera SEOING
3/4"	19.000		0.0%	0.0%	100.0%	Peso inicial 2103.0 g
1/2"	12.700	328.1	15.6%	15.6%	84.4%	seco:
3/8"	9.500	786.5	37.4%	53.0%	47.0%	(ASTM D5821)
N°4	4.750	855.9	40.7%	93.7%	6.3%	1 caras 2 caras fracturadas fracturadas
N°8	2.360	132.5	6.3%	100.0%	0.0%	100.00% 100.00%
N°16	1.100		0.0%	100.0%	0.0%	(ASTM D4791)
N°30	0.600		0.0%	100.0%	0.0%	Chatas y alargadas
N°50	0.300		0.0%	100.0%	0.0%	0.50%
N°100	0.150		0.0%	100.0%	0.0%	% Grava 93.7%
N°200	0.075		0.0%	100.0%	0.0%	% Arena 6.3%
<N°200			0.0%	100.0%	0.0%	% Fino 0.0%

Fuente: Propia.

Figura 17

Tamizaje de la grava.



Nota. Fotografía tomada en las instalaciones de la Universidad Ricardo Palma. Fuente

Propia.

Tabla 8

Análisis granulométrico de la combinación de agregados 56% arena y 44% grava.

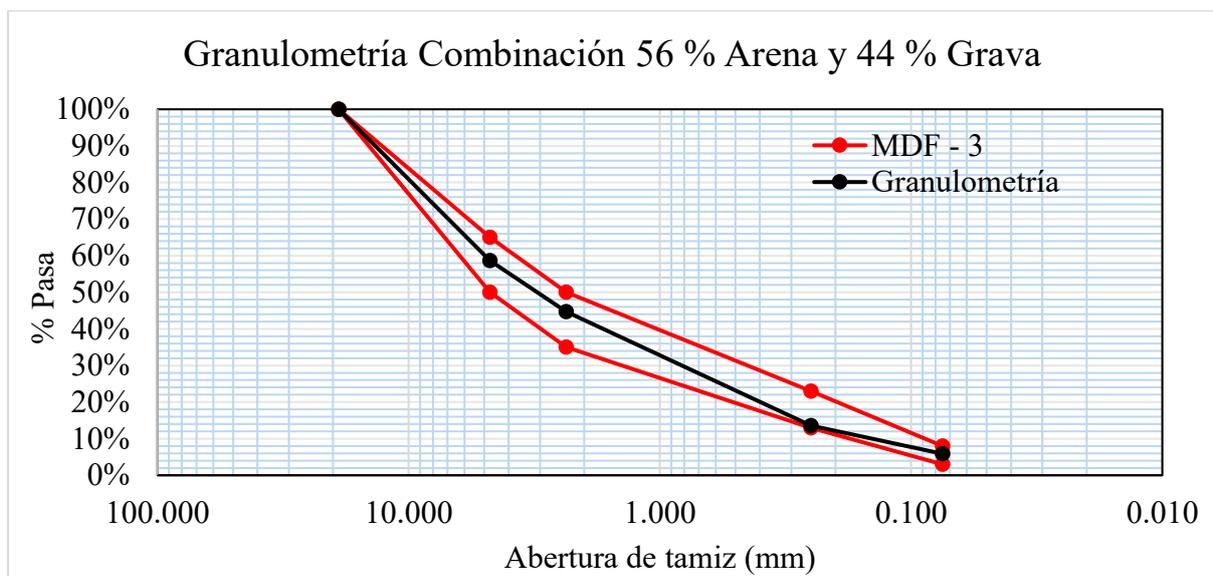
Tamiz	Abertura (mm)	% Parcial retenido	% Acumulado retenido	% Acumulado que pasa	Huso MDF - 3	
3"	75.000	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
1 1/2"	37.500	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
3/4"	19.000	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
1/2"	12.500	6.9%	6.9%	93.1%	-	-
3/8"	9.500	16.5%	23.3%	76.7%	-	-
N°4	4.750	18.0%	41.3%	58.7%	50%	65%
N°8	2.360	14.0%	55.3%	44.7%	35%	50%
N°16	1.100	15.5%	70.8%	29.2%	-	-
N°30	0.600	9.3%	80.1%	19.9%	-	-
N°50	0.250	6.3%	86.4%	13.6%	13%	23%
N°100	0.150	4.8%	91.2%	8.8%	-	-
N°200	0.075	3.0%	94.1%	5.9%	3%	8%
<N°200		5.9%	100.0%	0.0%	-	-

Fuente: Propia.

En la siguiente figura se demuestra que con una proporción 56:44 Arena: Grava se consigue cumplir con la gradación de Mezcla Densa en Frío 3 (Huso MDF-3).

Figura 18

Curva granulométrica de la combinación 56 % arena y 44 % grava.



Fuente: Propia.

Tabla 9*Gravedad específica bulk seca y saturada superficialmente seca.*

Agregado grueso					
	Muestra		N°1	N°2	Prom.
A	Peso del material S.S.S.	(W _{sss})	2270.0	2100.0	
B	Peso de la canasta sumergida		920.0	920.0	
C	Peso de la canasta sumergida + material		2040.0	1957.0	
D	Peso al aire del material secado al horno	(W _s)	2250.0	2081.5	
E	Peso del material sumergido: C-B	(W _{sum})	1120.0	1037.0	
F	Volumen: A-E		1150.0	1063.0	
G	Gravedad específica bulk S.S.S.: A/F	G _{sss}	1.974	1.976	1.975
H	Gravedad específica bulk seca: D/F	G _m	1.957	1.958	1.957
I	Gravedad específica aparente: D/(F-(A-D))	G _s	1.991	1.993	1.992
J	% Absorción: ((A-D)/D)*100	Ab	0.89%	0.89%	0.89%
Agregado fino					
	Muestra		N°1	N°2	Prom.
A	Peso del material S.S.S.	(W _{sss})	500.0	515.0	
B	Peso frasco + agua		675.4	690.0	
C	peso frasco+agua+A: A+B		1175.4	1205.0	
D	Peso del Mat+agua frasco		987.3	1011.1	
E	Peso del material sumergido: C-D		188.1	193.9	
F	Peso al aire del material secado al horno	(W _s)	486.0	500.5	
G	Volumen: E-(A-F)		174.1	179.4	
H	Gravedad específica bulk S.S.S.: A/E	G _{sss}	2.658	2.656	2.657
I	Gravedad específica bulk seca: F/E	G _m	2.583	2.582	2.583
J	Gravedad específica aparente: F/G	G _s	2.792	2.790	2.791
K	% Absorción: ((A-F)/F)*100	Ab	2.89%	2.89%	2.89%

Fuente: Propia

Tabla 10*Gravedad específica mezcla seca (Gsb) y saturada superficialmente seca (Gsb sss).*

	A.g.	A.f.	A.g.	44%
G_{sss}	1.975	2.657	A.f.	56%
G_m	1.957	2.583	G_{sb}	2.26
G_s	1.992	2.791	G_{sb sss}	2.31

Nota. Se usa para determinar los vacíos de agregado mineral y llenos de asfalto. Fuente:

Propia.

4.2. Diseño de mezclas asfálticas

4.2.1. Mezcla asfáltica patrón

Al combinar los materiales pétreos en la proporción de 56 % agregado fino y 44 % agregado grueso se obtiene la siguiente granulometría de la combinación.

Tabla 11

Análisis granulométrico de la combinación.

Tamiz	Abertura (mm)	% Parcial retenido	% Acumulado retenido	% Acumulado que pasa	Huso MDF - 3	
3"	75.000	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
1 1/2"	37.500	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
3/4"	19.000	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%
1/2"	12.500	6.9%	6.9%	93.1%	-	-
3/8"	9.500	16.5%	23.3%	76.7%	-	-
N°4	4.750	18.0%	41.3%	58.7%	50%	65%
N°8	2.360	14.0%	55.3%	44.7%	35%	50%
N°16	1.100	15.5%	70.8%	29.2%	-	-
N°30	0.600	9.3%	80.1%	19.9%	-	-
N°50	0.250	6.3%	86.4%	13.6%	13%	23%
N°100	0.150	4.8%	91.2%	8.8%	-	-
N°200	0.075	3.0%	94.1%	5.9%	3%	8%
<N°200		5.9%	100.0%	0.0%	-	-

Nota. Cumple los parámetros de la norma Huso MDF-3. Fuente: Elaboración propia.

Se usó la emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h), tiene un residuo asfáltico del 61.5 %. Para estimar un valor tentativo de contenido inicial de emulsión basado en el peso seco del agregado, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%Emulsión = \frac{[(0.07 \times B) + (0.01 \times C)]}{A} \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Siendo:

A: % de residuo de emulsión por destilación

B: % de agregado seco que pasa por el tamiz N° 4 (4.75 mm)

C: 100 – B: % de agregado seco retenido por el tamiz N° 4 (4.75 mm)

$$\%Emulsión = \frac{[(0.07 \times 58.7 \%) + (0.01 \times 41.3 \%)]}{61.5\%} = 7.35\%$$

Tabla 12*Mezcla base.*

	% Emulsión -2%			% Emulsión -1%			% Emulsión			% Emulsión +1%			% Emulsión +2%		
Ligante	5.35%	65.8	g	6.35%	78.1	g	7.35%	90.4	g	8.35%	102.7	g	9.35%	115.0	g
A.f.	56%	651.9	g	56%	645.1	g	56%	638.2	g	56%	631.3	g	56%	624.4	g
A.g.	44%	512.2	g	44%	506.8	g	44%	501.4	g	44%	496.0	g	44%	490.6	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g

Fuente: Propia.

Se inicio los ensayos usando contenido de ligante al 7.35 % en peso, lo que resultó una mezcla seca, donde los finos absorbieron el líquido de la emulsión. El procedimiento de mezclado se llevó a cabo en el siguiente orden: piedra, arena y emulsión. En la misma condición de contenido de ligante, se decidió agregar una cantidad adicional de agua.

Tabla 13*Ensayo 1 al 5. Relación Emulsión: Agua.*

	1			2			3			4		
	% Emulsión			% Emulsión (1:0.75)			% Emulsión (1:1)			% Emulsión (1:1.25)		
Ligante	7.35%	90.4	g	7.35%	90.4	g	7.35%	90.4	g	7.35%	90.4	g
Agua	0%	0.00	g	0.56%	6.9	g	1.69%	20.8	g	2.82%	34.7	g
A.f.	56%	638.2	g	56%	634.3	g	56%	626.5	g	56%	618.7	g
A.g.	44%	501.4	g	44%	498.4	g	44%	492.3	g	44%	486.2	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Desechado			Desechado			Leer descripción					
	5											
	% Emulsión (1:1.5)											
Ligante	7.35%	90.4	g									
Agua	3.95%	48.7	g									
A.f.	56%	611.0	g									
A.g.	44%	480.0	g									
Peso Total	1230											
Revisión	Leer descripción											

Nota. % Emulsión con la variación del agua al 0.25 en la relación Emulsión: Agua.

Fuente: Propia.

El ensayo 1 resultó en una mezcla seca, en que la arena y los finos absorbieron todo el

líquido de la emulsión. Tener en consideración que el procedimiento de mezcla fue en el siguiente orden: piedra, arena y emulsión. por lo que para el segundo ensayo 2 se cambió el orden de la mezcla arena, piedra y emulsión, con el objetivo de permitir que el ligante bañe primero al agregado y luego sea absorbido por la arena y finos, logrando así una mayor adherencia.

Figura 19

Ensayo 1, 2 y 5.



Nota. Fotografía tomada en laboratorio SEOING. Fuente: Propia.

El ensayo 2 se ve que el contenido de ligante no es suficiente para envolver el agregado pétreo. Los ensayos 3, 4 y 5 se diferencian en que se fue aumentando la cantidad de agua. El ensayo 3 no todos los agregados pétreos están cubiertos de asfalto. Luego de un día de rotura y curado, manualmente usando la fuerza de la mano se indujo un corte directo, el ensayo 4 tuvo mayor resistencia al corte que el 5.

También se observa que el incremento de agua mayor a la proporción 1:1.5 (Emulsión: Agua) a la mezcla produzca asentamiento de la arena y la mezcla no sea homogénea.

Los ensayos de la 1 – 5 no se medirá la resistencia empleando el aparato Marshall.

Los siguientes ensayos 7 al 12 se mezclará con los agregados con humedad natural. Se usará el ensayo 4 como referencia con un porcentaje de ligante del 10.0 % sin añadir agua.

Figura 20

Ensayo 3 y 4.



Nota. Fotografía tomada en laboratorio SEOING. Fuente: Propia.

Figura 21

No homogeneidad del ensayo 5.



Nota. Fotografía tomada en laboratorio SEOING. Fuente: Propia.

4.2.2. Mezcla asfáltica emulsión CSS-1h con agregado de humedad natural

Los siguientes ensayos de la 7 al 12 se trabajarán con la humedad natural del agregado a temperatura ambiente 22.1°C. La humedad de la piedra y la arena en estado saturado superficialmente seco son 0.36 % y 1.14 %, respectivamente. El residuo asfáltico de la emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) es de 61.5 %.

Según el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS-19 (2004) la diferencia normal entre los contenidos de los residuos de emulsión es de 1 %. Y para contenido de residuo asfáltico mayores al 65 %, la diferencia es de 0.65 %, por esta razón se cambió los ensayos 7 y 9 por los ensayos 11 y 12 respectivamente.

Tabla 14

Ensayo 7 al 12. Emulsión ± 1% con agregado de humedad natural.

Dosificación de diseño ensayos 7 al 12 (Material con humedad natural)									
	7			8			9		
	Emulsión 7 %			Emulsión 8 %			Emulsión 9 %		
Residuo asfáltico	4.31%	53	g	4.92%	60.5	g	5.54%	68.1	g
A.f. seca	51.49%	633.4	g	50.94%	626.6	g	50.39%	619.7	g
A.g. seca	40.77%	501.5	g	40.33%	496.1	g	39.90%	490.7	g
Agua	3.43%	42.2	g	3.81%	46.8	g	4.18%	51.5	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Déficit de ligante			Pasa prueba densidad específica					
	10			11			12		
	Emulsión 10 %			Emulsión 11%			Emulsión 12%		
Residuo asfáltico	6.15%	75.6	g	6.77%	83.2	g	7.38%	90.8	g
A.f. seca	49.83%	612.9	g	49.28%	606.1	g	48.72%	599.3	g
A.g. seca	39.46%	485.3	g	39.02%	479.9	g	38.58%	474.5	g
Agua	4.56%	56.1	g	4.94%	60.7	g	5.31%	65.4	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Pasa prueba densidad específica								

Nota. Emulsión ± 1% del óptimo anterior 10%. Fuente: Propia.

Tabla 15

Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 7 al 12.

	7	8	9	10	11	12
Contenido de agregado (Ps)	92.27%	91.27%	90.28%	89.29%	88.30%	87.31%
Contenido agua + Emulsión	7.73%	8.73%	9.72%	10.71%	11.70%	12.69%
Contenido de residuo asfáltico	4.31%	4.92%	5.54%	6.15%	6.77%	7.38%

Fuente: Propia.

Tabla 16

Ensayo 7 al 12. Emulsión ± 1% con agregado de humedad natural.

Dosificación de obra ensayos del 7 al 12 (Material con humedad natural)									
	7			8			9		
	Emulsión 7 %			Emulsión 8 %			Emulsión 9 %		
Emulsión	7.00%	86.1	g	8.00%	98.4	g	9.00%	110.7	g
A.f. húmeda	56.0%	640.6	g	56.0%	633.7	g	56.0%	626.8	g
A.g. húmeda	44.0%	503.3	g	44.0%	497.9	g	44.0%	492.5	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	07:30	NO	h	07:43	09:43	h	07:29	09:29	h
Prueba B	NO	NO	h	08:04	10:04	h	07:51	-	h
Prueba C	NO	NO	h	08:18	10:18	h	08:20	-	h
Revisión	Déficit de ligante			Pasa a prueba densidad específica					
	10			11			12		
	Emulsión 10 %			Emulsión 11%			Emulsión 12%		
Emulsión	10.00%	123.0	g	11.00%	135.3	g	12.00%	147.6	g
A.f. húmeda	56.0%	619.9	g	56.00%	613.0	g	56.00%	606.1	g
A.g. húmeda	44.0%	487.1	g	44.00%	481.7	g	44.00%	476.3	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	04:20	06:20	h	04:30	-	h	08:37	-	h
Prueba B	06:24	08:24	h	05:08	-	h	-	-	h
Prueba C	06:39	08:39	h	05:27	-	h	-	-	h
Revisión	Pasa a prueba densidad específica								

Fuente: Propia.

Tabla 17*Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 8 al 12.*

MTC E 514		A	C	B	Peso específico aparente (Gs Bulk)		Peso unitario (kg/m ³)	
		Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Peso S.S.S. (g)	A/(B-C)		Gs Bulk x 997.0	
8	A	730	370	740	-		-	
	B	1140	600	1150	2.073	2.085	2066.5	2079.1
	C	1070	560	1070	2.098		2091.7	
9	A	1170	640	1170	2.208		2200.9	
	B	1170	650	1180	2.208	2.200	2200.9	2193.5
	C	1180	640	1180	2.185		2178.6	
10	A	1150	630	1160	2.170		2163.3	
	B	1170	640	1170	2.208	2.203	2200.9	2196.1
	C	1160	640	1160	2.231		2224.1	
11	A	1100	600	1110	2.157		2150.4	
	B	1150	640	1160	2.212	2.186	2204.9	2179.1
	C	1160	640	1170	2.189		2182.1	
12	A	1160	620	1170	2.109		2102.8	
	B	1150	630	1170	2.130	2.149	2123.2	2142.3
	C	1170	640	1170	2.208		2200.9	

Fuente: Propia.

Tabla 18

Altura de especímenes 8 al 12 compactados, para la corrección por estabilidad.

MTC E 507	Superior 1 (cm)	Superior 2 (cm)	Inferior1 (cm)	Inferior 2 (cm)	Promedio (cm)	Área (cm²)	Volumen (cm³)	Espesor (cm)	Corrección Estabilidad
8A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8B	10.200	10.200	10.210	10.210	10.205	81.8	550	6.7	0.89
8C	10.170	10.160	10.250	10.248	10.207	81.8	510	6.2	1.00
9A	10.134	10.162	10.172	10.170	10.160	81.1	530	6.5	0.96
9B	10.158	10.160	10.162	10.160	10.160	81.1	530	6.5	0.96
9C	10.176	10.182	10.190	10.194	10.186	81.5	540	6.6	0.93
10A	10.166	10.156	10.182	10.160	10.166	81.2	530	6.5	0.96
10B	10.170	10.152	10.164	10.190	10.169	81.2	530	6.5	0.96
10C	10.210	10.168	10.148	10.240	10.192	81.6	520	6.4	1.00
11A	10.210	10.158	10.202	10.162	10.183	81.4	510	6.3	1.00
11B	10.164	10.144	10.146	10.140	10.149	80.9	520	6.4	1.00
11C	10.154	10.138	10.170	10.120	10.146	80.8	530	6.6	0.96
12A	10.190	10.192	10.210	10.240	10.208	81.8	550	6.7	0.89
12B	10.188	10.164	10.188	10.188	10.182	81.4	540	6.6	0.93
12C	10.210	10.152	10.160	10.190	10.178	81.4	530	6.5	0.96

Fuente: Propia.

Tabla 19*Peso específico teórico máximo de ensayos 8 al 12.*

Peso específico teórico máximo de ensayos 8 al 12					
MTC 508	8	9	10	11	12
Residuo asfáltico (61.5 % Emulsión)	4.92%	5.54%	6.15%	6.77%	7.38%
Peso del material (g)	1468	1465	1462	1452	1450
Peso del agua + frasco rice (g)	7679	7679	7679	7679	7679
Peso de material + frasco + agua aire (g)	9147	9144	9141	9131	9129
Peso de material + frasco + agua agua (g)	8556	8548	8542	8530	8522
Volumen del material (cm ³)	591	596	599	601	607
Peso específico máximo teórico (g/cm ³)	2.484	2.458	2.441	2.416	2.389
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25

Fuente: Propia.

Tabla 20*Vacíos aire, vacíos agregado mineral y vacíos llenos de asfalto ensayos 8 al 12.*

	8	9	10	11	12
VACÍOS AIRE					
Residuo asfáltico (61.5 % Emulsión)	4.92%	5.54%	6.15%	6.77%	7.38%
A P.E. Máximo teórico	2.484	2.458	2.441	2.416	2.389
B Gs Bulk	2.085	2.200	2.203	2.186	2.149
C Vacíos aire (1-B/A)	16.04%	10.49%	9.75%	9.53%	10.05%
VACÍOS AGREGADO MINERAL					
A Ps	91.3%	90.3%	89.3%	88.3%	87.3%
B Gs Bulk	2.085	2.200	2.203	2.186	2.149
C Gsb	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26
VMA (1-A*B/C)	19.0%	15.9%	12.3%	13.1%	14.8%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO					
A VMA	15.9%	12.3%	13.1%	14.8%	17.2%
B Vacíos aire	16.0%	10.5%	9.8%	9.5%	10.0%
VFA (A-B)/A	-0.7%	14.5%	25.8%	35.5%	41.4%

Fuente: Propia.

Tabla 21

Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 8 al 12.

ESTABILIDAD Y FLUJO											
Residuo asfáltico (61.5 % Emulsión)		4.92%	5.54%	6.15%	6.77%	7.38%					
VÍA SECA		8C	9A	10A	11A	12B					
A	Estabilidad (kgf)	803	2500	3303	2183	1460					
B	Corrección	1.00	0.96	0.96	1.00	0.93					
C	Estabilidad corregida (kgf) (A*B)	803	2400	3171	2183	1358					
Flujo		12.00	12.00	13.00	17.00	16.00					
VÍA HÚMEDA		8A	8B	9B	9C	10B	10C	11B	11C	12A	12C
D	Estabilidad (kgf)	-	721	1183	1109	2698	2629	1880	1785	1215	1309
E	Corrección	-	0.89	0.96	0.93	0.96	1.00	1.00	0.96	0.89	0.96
F	Estabilidad corregida (kgf) (D*E)	-	642	1136	1031	2590	2629	1880	1714	1081	1257
G	Promedio estabilidad (kgf)	642		1084		2610		1797		1169	
Flujo		-	10	12	13	14	13	15	16	15	16
Promedio Flujo		10		12.5		13.5		15.5		15.5	
		8	9	10	11	12					
Pérdida de estabilidad (G-C)/C		20.1%	56.7%	21.0%	17.7%	19.9%					
%Pérdida de estabilidad < 50% Después de saturación de vacíos e inmersión		Cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple					

Nota. Estabilidad mínima 226.8 kgf, %Pérdida estabilidad < 50% y flujo 8 – 14. Fuente: Propia.

Figura 22

Control térmico permanente.



Nota. Fotografía tomada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Fuente: Propia.

Figura 23

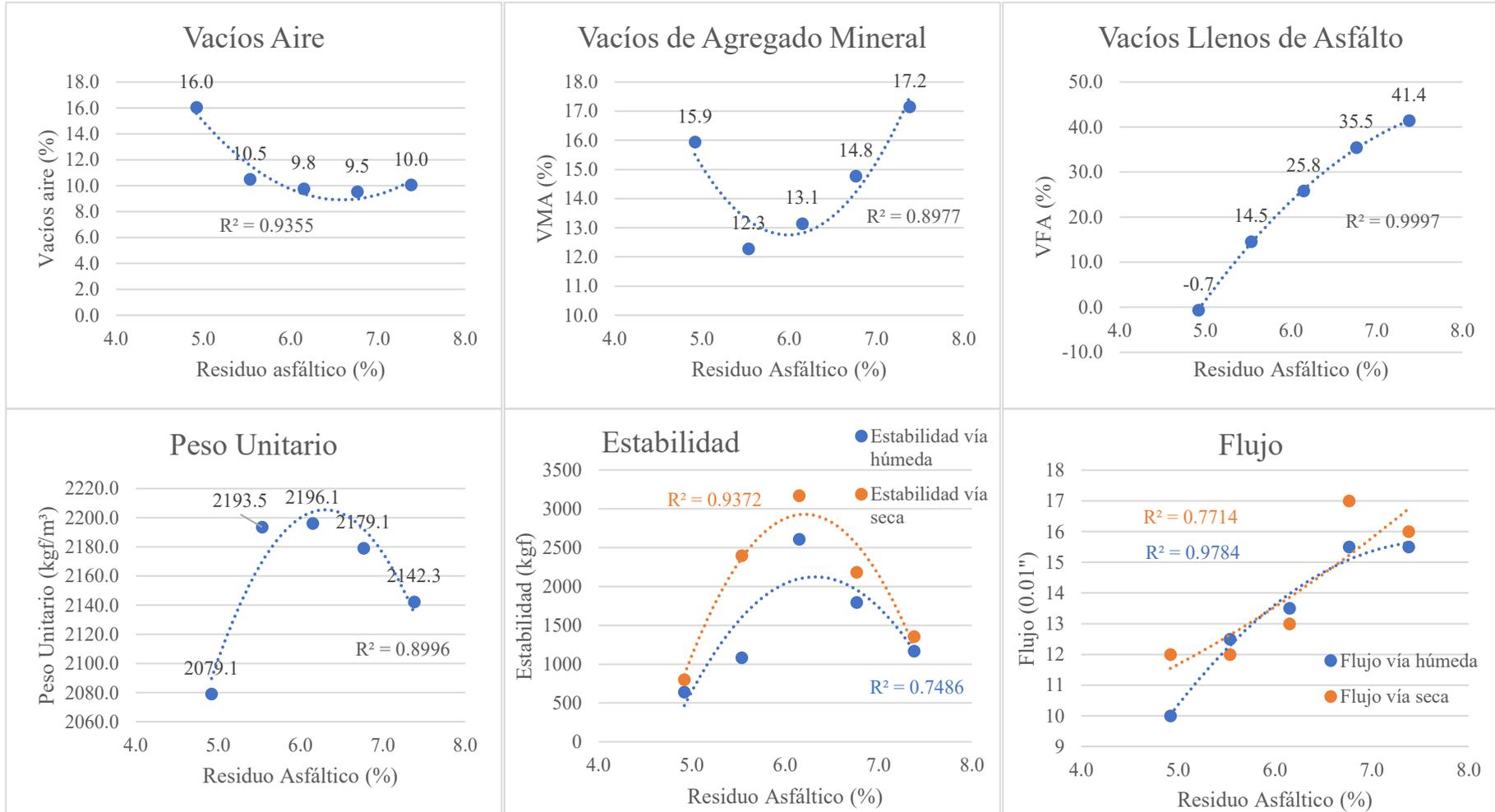
Especímenes 8 al 12 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.



Nota. Fotografía tomada en las instalaciones de JBO Ingenieros S.A.C. Fuente: Propia.

Figura 24

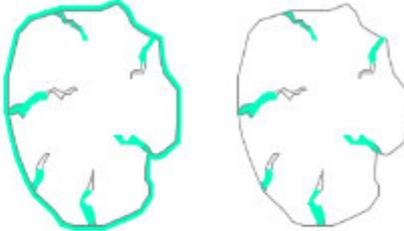
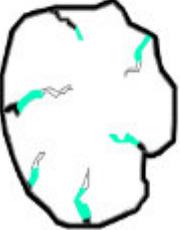
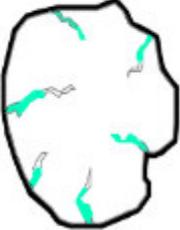
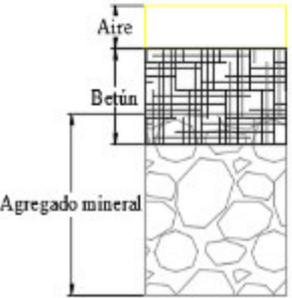
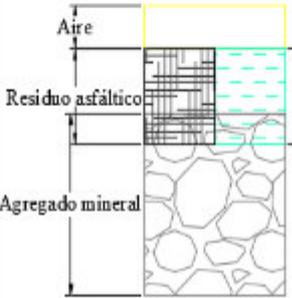
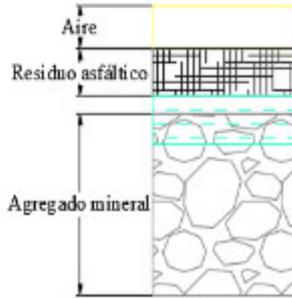
Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 8 al 12.



Fuente: Propia.

Tabla 22

Propiedades Peso-Volumen en mezcla asfáltica en caliente y en frío.

	Asfalto en caliente	Asfalto en frío	
	Agregados con humedad natural	Agregados con humedad natural	Agregados superficialmente seco (SSS)
Agregado			
Proceso	Agregados fríos y húmedos se calientan y se secan en el tambor de secado 	/	Agregados fríos se saturan (obra riega) y se deja secar al ambiente, pasa por prueba de cono de absorción y visual para piedra 
Mezcla	Agregados se mezclan con betún 	Agregados se mezclan con emulsión 	Agregados se mezclan con emulsión 
Análisis			

Nota. En la tabla se muestra el análisis realizado para cada caso de mezcla. En la presente tesis, se mezclará los agregados con humedad natural con emulsión y saturado superficialmente secos con emulsión ambos a temperatura ambiente. Para los siguientes diseños se reemplazará el agregado con humedad natural por agregados saturado superficialmente seco (S.S.S.). Fuente: Propia.

4.2.3. Mezcla asfáltica emulsión CSS-1h con agregado saturado superficialmente seco

Los siguientes ensayos de la 13 al 18 se trabajará el agregado en estado saturado superficialmente seco a temperatura ambiente 22.1°C. La humedad de la piedra y la arena en estado saturado superficialmente seco son 0.88 % y 2.89 %, respectivamente. El residuo asfáltico de la emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) es de 60.5 %. El motivo es optimizar ligante que es absorbido por los agregados. Para lograr eso en cantera se propone regar el material y batirlo.

Tabla 23

Ensayo 13 al 18. Emulsión ± 1% con agregado saturado superficialmente seco.

Dosificación de diseño ensayos 13 al 18 (Material en estado saturado superficialmente seco)									
	13			14			15		
	Emulsión 5.47%			Emulsión 6.47 %			Emulsión 7.47 %		
Residuo asfáltico	3.31%	40.7	g	3.91%	48.1	g	4.52%	55.6	g
A.f.	51.45%	632.8	g	50.91%	626.1	g	50.36%	619.4	g
A.g.	41.23%	507.1	g	40.79%	501.8	g	40.36%	496.4	g
Agua	4.01%	49.3	g	4.39%	53.9	g	4.76%	58.6	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Se desmoronó			Pasa a prueba densidad específica					
	16			17			18		
	Emulsión 8.47 %			Emulsión 9.47 %			Emulsión 10.47 %		
Residuo asfáltico	5.12%	63.0	g	5.73%	70.5	g	6.33%	77.9	g
A.f.	49.82%	612.7	g	49.27%	606.1	g	48.73%	599.4	g
A.g.	39.92%	491.0	g	39.49%	485.7	g	39.05%	480.3	g
Agua	5.14%	63.2	g	5.51%	67.8	g	5.89%	72.4	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Pasa a prueba densidad específica								

Fuente: Propia.

Tabla 24

Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 13 al 18.

	13	14	15	16	17	18
Contenido de agregado (Ps)	92.68%	91.70%	90.72%	89.74%	88.76%	87.78%
Contenido agua + Emulsión	6.17%	6.94%	7.71%	8.48%	9.25%	10.02%
Residuo asfáltico	3.31%	3.91%	4.52%	5.12%	5.73%	6.33%

Fuente: Propia.

Tabla 25

Ensayo 13 al 18. Emulsión \pm 1% con agregado saturado superficialmente seco.

Dosificación de obra ensayos 13 al 18 (Material en estado saturado superficialmente seco)									
	13			14			15		
	Emulsión 5.47%			Emulsión 6.47%			Emulsión 7.47 %		
Emulsión	5.47%	67.3	g	6.47%	79.6	g	7.47%	91.9	g
A.f. S.S.S.	56.00%	651.1	g	56.00%	644.2	g	56.00%	637.3	g
A.g. S.S.S.	44.00%	511.6	g	44.00%	506.2	g	44.00%	500.8	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	03:55	04:35	h	06:05	06:37	h	08:50	09:23	h
Prueba B	04:11	04:57	h	06:15	06:52	h	08:59	09:37	h
Prueba C	04:31	05:15	h	06:25	07:15	h	09:05	10:25	h
Revisión	Se desmoronó		Pasa a prueba densidad específica						
	16			17			18		
	Emulsión 8.47 %			Emulsión 9.47 %			Emulsión 10.47 %		
Emulsión	8.47%	104.2	g	9.47%	116.5	g	10.47%	128.8	g
A.f. S.S.S.	56.00%	630.5	g	56.00%	623.6	g	56.00%	616.7	g
A.g. S.S.S.	44.00%	495.4	g	44.00%	489.9	g	44.00%	484.5	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	09:15	11:00	h	08:17	08:55	h	10:32	11:00	h
Prueba B	13:50	-	h	-	09:15	h	11:45	12:55	h
Prueba C	14:25	-	h	08:50	09:40	h	12:03	12:40	h
Revisión	Pasa a prueba densidad específica								

Fuente: Propia.

Tabla 26

Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 14 al 18.

MTC E 514		A	C	B	Peso específico aparente (Gs Bulk)		Peso unitario (kg/m ³)	
		Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Peso S.S.S. (g)	A/(B-C)		Gs Bulk x 997.0	
14	A	1140	620	1150	2.151	2.136	2144.5	2129.7
	B	1160	630	1170	2.148		2141.7	
	C	1160	620	1170	2.109		2102.8	
15	A	1150	610	1160	2.091	2.103	2084.6	2096.7
	B	1160	620	1170	2.109		2102.8	
	C	1160	620	1170	2.109		2102.8	
16	A	1150	610	1160	2.091	2.098	2084.6	2091.4
	B	1150	610	1160	2.091		2084.6	
	C	1140	610	1150	2.111		2104.8	
17	A	1150	620	1160	2.130	2.097	2123.2	2091.0
	B	1160	610	1170	2.071		2065.2	
	C	1150	610	1160	2.091		2084.6	
18	A	1160	620	1180	2.071	2.097	2065.2	2091.0
	B	1150	630	1170	2.130		2123.2	
	C	1150	620	1170	2.091		2084.6	

Fuente: Propia.

Tabla 27

Altura de especímenes 14 al 18 compactados, para la corrección por estabilidad.

	Superior 1 (cm)	Superior 2 (cm)	Inferior 1 (cm)	Inferior 2 (cm)	Promedio (cm)	Área (cm²)	Volumen (cm³)	Espesor (cm)	Corrección estabilidad
14A	10.210	10.190	10.168	10.160	10.2	81.4	530	6.5	0.96
14B	10.176	10.220	10.220	10.154	10.2	81.6	540	6.6	0.93
14C	10.210	10.210	10.190	10.150	10.2	81.6	550	6.7	0.89
15A	10.184	10.160	10.154	10.158	10.2	81.1	550	6.8	0.89
15B	10.162	10.180	10.130	10.170	10.2	81.1	550	6.8	0.89
15C	10.720	10.190	10.170	10.180	10.3	83.6	550	6.6	0.89
16A	10.178	10.180	10.176	10.198	10.2	81.4	550	6.8	0.89
16B	10.168	10.160	10.176	10.162	10.2	81.2	550	6.8	0.89
16C	10.154	10.194	10.178	10.200	10.2	81.4	540	6.6	0.93
17A	10.138	10.162	10.160	10.172	10.2	81.0	540	6.7	0.93
17B	10.188	10.138	10.210	10.212	10.2	81.5	560	6.9	0.86
17C	10.218	10.192	10.220	10.160	10.2	81.7	550	6.7	0.89
18A	10.190	10.150	10.180	10.128	10.2	81.1	560	6.9	0.86
18B	10.178	10.178	10.540	10.168	10.3	82.8	540	6.5	0.93
18C	10.262	10.160	10.174	10.158	10.2	81.5	550	6.7	0.89

Fuente: Propia.

Tabla 28*Peso específico teórico máximo de ensayos 8 al 12.*

Peso específico teórico máximo de ensayos 14 al 18					
MTC 508	14	15	16	17	18
Residuo asfáltico (60.5 % Emulsión)	3.91%	4.52%	5.12%	5.73%	6.33%
Peso del material (g)	1469	1457	1450	1445	1441
Peso del agua + frasco rice (g)	7679	7679	7679	7679	7679
Peso de material + frasco + agua aire (g)	9148	9136	9129	9124	9120
Peso de material + frasco + agua agua (g)	8566	8555	8544	8536	8524
Volumen del material (cm ³)	582	581	585	588	596
Peso específico máximo teórico (g/cm ³)	2.524	2.508	2.479	2.457	2.418
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25

Fuente: Propia.

Tabla 29*Vacios aire, vacíos agregado mineral y vacíos llenos de asfalto de ensayos 14 al 18.*

		14	15	16	17	18
VACÍOS AIRE						
Residuo asfáltico (60.5 % Emulsión)		3.91%	4.52%	5.12%	5.73%	6.33%
A	P.E. Máximo teórico	2.524	2.508	2.479	2.457	2.418
B	Gs Bulk	2.136	2.103	2.098	2.097	2.097
C	Vacios aire (1-B/A)	15.37%	16.14%	15.37%	14.66%	13.25%
VACÍOS AGREGADO MINERAL						
A	Ps	91.7%	90.7%	89.7%	88.8%	87.8%
B	Gs Bulk	2.136	2.103	2.098	2.097	2.097
C	Gsb s.s.s.	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
	VMA (1-A*B/C)	18.2%	15.1%	17.3%	18.4%	19.3%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO						
A	VMA	15.1%	17.3%	18.4%	19.3%	20.2%
B	Vacios aire	15.4%	16.1%	15.4%	14.7%	13.3%
	VFA (A-B)/A	7.8%	-2.0%	6.6%	16.4%	24.0%

Fuente: Propia.

Tabla 30

Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 14 al 18.

ESTABILIDAD Y FLUJO											
Residuo asfáltico (60.5 % Emulsión)		3.91%	4.52%	5.12%	5.73%	6.33%					
VÍA SECA		14A	15A	16B	17A	18B					
A	Estabilidad (kgf)	2380.0	2479.0	2812.0	3230.0	3271.0					
B	Corrección	0.96	0.89	0.89	0.93	0.93					
C	Estabilidad corregida (kgf) (A*B)	2285	2206	2503	3004	3042					
Flujo		12.00	12.00	13.00	17.00	16.00					
VÍA HÚMEDA		14B	14C	15B	15C	16A	16C	17B	17C	18A	18C
D	Estabilidad (kgf)	1986	1853	2038	2050	1878	1895	2199	2313	2650	2670
E	Corrección	0.93	0.89	0.89	0.89	0.89	0.93	0.86	0.89	0.86	0.89
F	Estabilidad corregida (kgf) (D*E)	1847	1649	1814	1825	1671	1762	1891	2059	2279	2376
G	Promedio estabilidad (kgf)	1748		1819		1717		1975		2328	
Flujo		10	11	13	14	15	14	13	14	14	15
Promedio Flujo		10.5		13.5		14.5		13.5		14.5	
				14	15	16	17	18			
Pérdida de estabilidad				23.5%	17.5%	31.4%	34.3%	23.5%			
%Pérdida de estabilidad < 50%				Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple			
Después de saturación de vacíos e inmersión				Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple			

Fuente: Estabilidad mínima 226.8 kgf, %Pérdida estabilidad < 50% y flujo 8 – 14. Fuente: Propia.

Figura 25

Control térmico permanente.



Nota. Fotografía tomada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Fuente: Propia

Figura 26

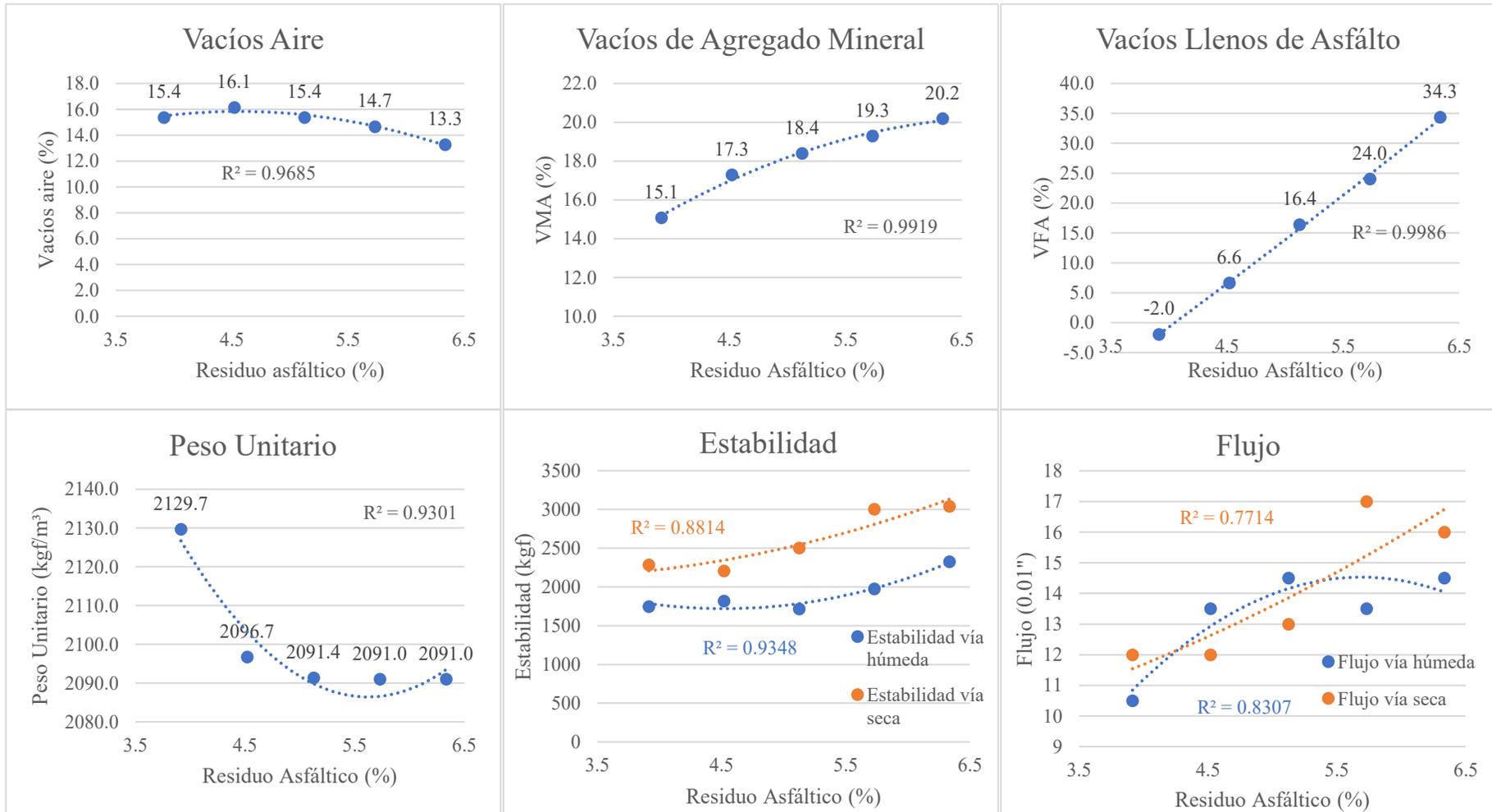
Especímenes 14 al 18 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.



Nota. Fotografía tomada en las instalaciones de JBO Ingenieros S.A.C. Fuente: Propia

Figura 27

Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 14 al 18.



Fuente: Propia

4.2.4. Mezcla asfáltica emulsión CSS-1hP SBS con agregado saturado superficialmente seco

Los siguientes ensayos de la 20 al 27 se trabajará el agregado en estado saturado superficialmente seco a temperatura ambiente 22.1°C. La humedad de la piedra y la arena en estado saturado superficialmente seco son 0.88 % y 2.89 %, respectivamente. El residuo asfáltico de la emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y consistencia dura modificada con polímero Estireno – Butadieno – Estireno (CSS-1hP SBS) es de 61.9 %.

Tabla 31

Ensayo 20 al 27. Emulsión ± 1% con agregado saturado superficialmente seco.

Dosificación de diseño ensayos 20 al 27												
(Material en estado saturado superficialmente seco)												
	25			26			27			20		
	Emulsión 3.30 %			Emulsión 4.30 %			Emulsión 5.30 %			Emulsión 6.30 %		
Residuo asfáltico	2.04%	25.1	g	2.66%	32.7	g	3.28%	40.4	g	3.90%	48.0	g
A.f.	52.63%	647.4	g	52.09%	640.7	g	51.54%	634.0	g	51.00%	627.3	g
A.g.	42.18%	518.8	g	41.74%	513.4	g	41.30%	508.0	g	40.87%	502.7	g
Agua	3.15%	38.7	g	3.51%	43.2	g	3.87%	47.6	g	4.23%	52.1	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Déficit de ligante						Pasa a prueba densidad específica					
	21			22			23			24		
	Emulsión 7.30 %			Emulsión 8.30 %			Emulsión 9.30 %			Emulsión 10.30%		
Residuo asfáltico	4.52%	55.6	g	5.14%	63.2	g	5.76%	70.8	g	6.38%	78.4	g
A.f.	50.45%	620.6	g	49.91%	613.9	g	49.37%	607.2	g	48.82%	600.5	g
A.g.	40.43%	497.3	g	40.00%	492.0	g	39.56%	486.6	g	39.12%	481.2	g
Agua	4.60%	56.5	g	4.96%	61.0	g	5.32%	65.4	g	5.68%	69.9	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g
Revisión	Pasa a prueba densidad específica						Exceso de líquido					

Fuente: Propia.

Tabla 32

Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 20 al 27.

	25	26	27	20	21	22	23	24
Contenido de agregado (Ps)	94.81%	93.83%	92.85%	91.87%	90.89%	89.91%	88.93%	87.94%
Contenido Agua + Emulsión	5.19%	6.17%	7.15%	8.13%	9.11%	10.09%	11.07%	12.06%
Contenido de asfalto	2.04%	2.66%	3.28%	3.90%	4.52%	5.14%	5.76%	6.38%

Fuente: Propia.

Figura 28

Ensayo con la prensa Marshall.



Nota. Ensayo realizado por el equipo de trabajo de JBO Ingenieros. Fuente: Propia.

Tabla 33

Ensayo 20 al 27. Emulsión \pm 1% con agregado de humedad natural.

Dosificación de obra (Material en estado saturado superficialmente seco)												
25			26			27			20			
Emulsión 3.30 %			Emulsión 4.30 %			Emulsión 5.30 %			Emulsión 6.30 %			
Emulsión	3.30%	40.6	g	4.30%	52.9	g	5.30%	65.2	g	6.30%	77.5	g
A.f. S.S.S.	56.00%	666.1	g	56.00%	659.2	g	56.00%	652.3	g	56.00%	645.4	g
A.g. S.S.S.	44.00%	523.3	g	44.00%	517.9	g	44.00%	512.5	g	44.00%	507.1	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	-	-	h	15:10	15:39	h	12:22	12:55	h	08:00	08:35	h
Prueba B	-	-	h	15:20	15:52	h	12:33	13:06	h	08:09	09:15	h
Prueba C	-	-	h	12:10	15:46	h	14:12	14:43	h	08:23	09:25	h
Revisión	Déficit de ligante			Pasa a prueba densidad específica								
21			22			23			24			
Emulsión 7.30 %			Emulsión 8.30 %			Emulsión 9.30 %			Emulsión 10.30%			
Emulsión	7.30%	89.8	g	8.30%	102.1	g	9.30%	114.4	g	10.30%	126.7	g
A.f. S.S.S.	56.00%	638.5	g	56.00%	631.6	g	56.00%	624.7	g	56.00%	617.9	g
A.g. S.S.S.	44.00%	501.7	g	44.00%	496.3	g	44.00%	490.9	g	44.00%	485.5	g
Peso Total	1230		g	1230		g	1230		g	1230		g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	09:40	10:16	h	14:50	15:18	h	-	-	h	-	-	h
Prueba B	10:00	10:26	h	15:07	15:33	h	-	-	h	-	-	h
Prueba C	10:08	10:43	h	15:16	16:05	h	-	-	h	-	-	h
Revisión	Pasa a prueba densidad específica					Exceso de liquido						

Fuente: Propia.

Tabla 34*Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 20 al 27.*

MTC E	A	C	B	Peso específico aparente (Gs Bulk)		Peso unitario (kg/m ³)		
				A/(B-C)		Gs Bulk x 997.0		
514	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Peso S.S.S. (g)					
26	A	1190	680	1210	2.245		2238.5	
	B	1170	660	1180	2.250	2.264	2243.3	2257.6
	C	1080	610	1080	2.298		2291.0	
27	A	1180	660	1200	2.185		2178.6	
	B	1180	660	1190	2.226	2.213	2219.7	2206.0
	C	1180	660	1190	2.226		2219.7	
20	A	1170	660	1170	2.294		2287.2	
	B	1180	660	1190	2.226	2.243	2219.7	2236.0
	C	1170	650	1180	2.208		2200.9	
21	A	1180	660	1180	2.269		2262.4	
	B	1170	660	1180	2.250	2.263	2243.3	2256.0
	C	1180	660	1180	2.269		2262.4	
22	A	1170	660	1180	2.250		2243.3	
	B	1180	660	1180	2.269	2.263	2262.4	2256.0
	C	1180	660	1180	2.269		2262.4	

Fuente: Propia.

Tabla 35

Altura de especímenes 20 al 27 compactados, para la corrección por estabilidad.

	Superior 1 (cm)	Superior 2 (cm)	Inferior 1 (cm)	Inferior 2 (cm)	Promedio (cm)	Área (cm²)	Volumen (cm³)	Espesor (cm)	Corrección estabilidad
26A	10.161	10.154	10.154	10.150	10.2	81.0	530	6.5	0.96
26B	10.150	10.160	10.150	10.174	10.2	81.0	520	6.4	1.00
26C	10.170	10.160	10.180	10.152	10.2	81.2	470	5.8	1.19
27A	10.180	10.116	10.160	10.150	10.2	80.9	540	6.7	0.93
27B	10.176	10.178	10.180	10.160	10.2	81.3	530	6.5	0.96
27C	10.180	10.168	10.170	10.160	10.2	81.2	530	6.5	0.96
20A	10.144	10.138	10.188	10.142	10.2	81.0	510	6.3	1.00
20B	10.168	10.150	10.150	10.150	10.2	81.0	530	6.5	0.96
20C	10.158	10.160	10.154	10.158	10.2	81.0	530	6.5	0.96
21A	10.138	10.148	10.152	10.116	10.1	80.7	520	6.4	1.00
21B	10.140	10.152	10.178	10.166	10.2	81.1	520	6.4	1.00
21C	10.138	10.148	10.136	10.146	10.1	80.8	520	6.4	1.00
22A	10.138	10.148	10.136	10.146	10.1	80.8	520	6.4	1.00
22B	10.148	10.148	10.200	10.150	10.2	81.1	520	6.4	1.00
22C	10.138	10.144	10.142	10.520	10.2	82.3	520	6.3	1.00

Fuente: Propia.

Tabla 36*Peso específico teórico máximo de ensayos 20 al 27.*

Peso específico teórico máximo de ensayos 20 al 27					
MTC 508	26	27	20	21	22
Residuo asfáltico (61.9 % Emulsión)	2.66%	3.28%	3.90%	4.52%	5.14%
Peso del material (g)	1479	1476	1474	1474	1457
Peso del agua + frasco rice (g)	7679	7679	7679	7679	7679
Peso de material + frasco + agua aire (g)	9158	9155	9153	9153	9136
Peso de material + frasco + agua agua (g)	8589	8576	8568	8561	8546
Volumen del material (cm ³)	569	579	585	592	590
Peso específico máximo teórico (g/cm ³)	2.599	2.549	2.520	2.490	2.469
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25

Fuente: Propia.

Tabla 37*Vacíos aire, vacíos agregado mineral y vacíos llenos de asfalto de ensayos 20 al 27.*

		26	27	20	21	22
VACÍOS AIRE						
	Contenido de emulsión	2.66%	3.28%	3.90%	4.52%	5.14%
A	P.E. Máximo teórico	2.599	2.549	2.520	2.490	2.469
B	Gs Bulk	2.264	2.213	2.243	2.263	2.263
C	Vacíos aire (1-B/A)	12.88%	13.20%	10.99%	9.12%	8.37%
VACÍOS AGREGADO MINERAL						
A	Ps	93.8%	92.8%	91.9%	90.9%	89.9%
B	Gs Bulk	2.264	2.213	2.243	2.263	2.263
C	Gsb s.s.s.	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
	VMA (1-A*B/C)	11.2%	7.9%	10.9%	10.7%	10.8%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO						
A	VMA	7.9%	10.9%	10.7%	10.8%	11.8%
B	Vacíos aire	12.9%	13.2%	11.0%	9.1%	8.4%
	VFA (A-B)/A	-63.4%	-20.8%	-3.0%	15.8%	29.1%

Fuente: Propia.

Tabla 38

Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 20 al 27.

ESTABILIDAD Y FLUJO											
Residuo asfáltico (61.9 % Emulsión)		2.66%	3.28%	3.90%	4.52%	5.14%					
VÍA SECA		26A	27B	20C	21B	22A					
A	Estabilidad (kgf)	1518.0	2567.0	3761.0	4538.0	3932.0					
B	Corrección	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00					
C	Estabilidad corregida (kgf) (A*B)	1457	2464	3611	4538	3932					
Flujo		10.0	11.0	12.0	13.0	13.0					
VÍA HÚMEDA		26B	26C	27A	27C	20A	20B	21A	21C	22B	22C
D	Estabilidad (kgf)	966	871	1341	1029	2525	2468	3105	3150	2417	2433
E	Corrección	1.00	1.19	0.93	0.96	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
F	Estabilidad corregida (kgf) (D*E)	966	1036	1247	988	2525	2369	3105	3150	2417	2433
G	Promedio estabilidad (kgf)	1001		1117		2447		3128		2425	
Flujo		9	9	10	9	12	13	12	11	13	13
Promedio Flujo		9		9.5		12.5		11.5		13	
				26	27	20	21	22			
Pérdida de estabilidad		31.3%	54.7%	32.2%	31.1%	38.3%					
%Pérdida de estabilidad < 50%		Cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple					
Después de saturación de vacíos e inmersión											

Fuente: Estabilidad mínima 226.8 kgf, %Pérdida estabilidad < 50% y flujo 8 – 14. Fuente: Propia.

Figura 29

Control térmico permanente.



Nota. Fotografía tomada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Fuente: Propia.

Figura 30

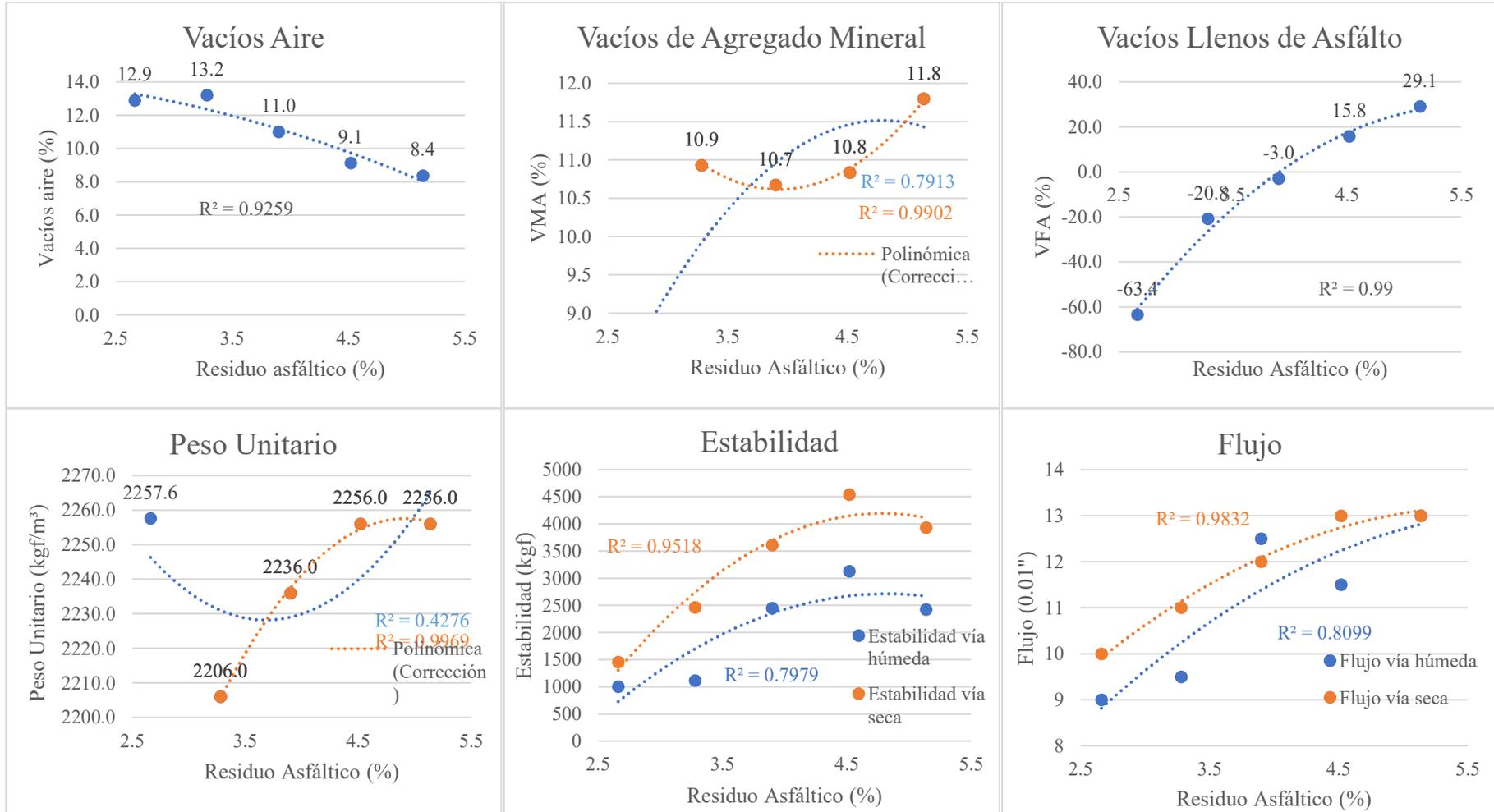
Especímenes 14 al 18 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.



Nota. Fotografía tomada en las instalaciones de JBO Ingenieros S.A.C. Fuente: Propia.

Figura 31

Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 20 al 27.



Fuente: Propia.

4.2.5. Mezcla asfáltica emulsión CSS-1hP SBS con agregado saturado superficialmente seco con filler cemento

Los ensayos del 28 al 30 se llevaron a cabo comparándolos con el 21, variando el contenido de cemento en peso en incrementos de 0.5%. En todos los casos, el agregado se trabajó en estado saturado superficialmente seco a temperatura ambiente 22.1°C. La humedad de la piedra y la arena en estado saturado superficialmente seco fue de 0.88 % y 2.89 %, respectivamente. La emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y consistencia dura modificada con polímero Estireno – Butadieno – Estireno (CSS-1hP SBS) tiene un residuo asfáltico de 61.9 %. El cemento Portland es tipo I de la marca Sol.

Tabla 39

Ensayo 28 al 30. Filler cemento \pm 0.5% con agregado saturado superficialmente seco.

	Dosificación de diseño							
	21		28		29		30	
	CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 0.00%		CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 0.50%		CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 1.00%		CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 1.50%	
Residuo asfáltico	4.52%	55.6 g	4.57%	56.2 g	4.57%	56.2 g	4.57%	56.2 g
Cemento	0.00%	0.0 g	0.50%	6.2 g	1.00%	12.3 g	1.50%	18.5 g
A.f.	50.45%	620.6 g	50.18%	617.2 g	49.91%	613.9 g	49.64%	610.5 g
A.g.	40.43%	497.3 g	40.21%	494.6 g	40.00%	492.0 g	39.78%	489.3 g
Agua	4.60%	56.5 g	4.53%	55.8 g	4.52%	55.7 g	4.51%	55.5 g
Peso Total	1230 g		1230 g		1230 g		1230 g	
Revisión	Pasa a prueba densidad específica							

Fuente: Propia.

Tabla 40

Contenido de agregados, agua + emulsión y residuo asfáltico de los ensayos 13 al 18.

	21	28	29	30
Contenido de agregado (Ps)	90.89%	90.40%	89.91%	89.42%
Contenido agua + Emulsión	9.11%	9.10%	9.09%	9.08%
Contenido de asfalto	2.80%	2.83%	2.83%	2.83%
Relación a/c	NP	9.07	4.52	3.01

Fuente: Propia.

Tabla 41

Ensayo 28 al 30. Cemento \pm 0.5% con agregado saturado superficialmente seco.

Dosificación de obra												
		21		28		29		30				
		CSS-1hP SBS 7.30 %		CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 0.50%		CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 1.00%		CSS-1hP SBS 7.30% + Cemento Portland tipo I 1.50%				
Emulsión	7.30%	89.8	g	7.30%	89.8	g	7.30%	89.8	g	7.30%	89.8	g
Cemento	0.00%	0.0		0.50%	6.2	g	1.00%	12.3	g	1.50%	18.5	g
A.f. S.S.S.	56.00%	638.5	g	56.00%	635.1	g	56.00%	631.6	g	56.00%	628.2	g
A.g. S.S.S.	44.00%	501.7	g	44.00%	499.0	g	44.00%	496.3	g	44.00%	493.6	g
Peso Total		1230	g		1230	g		1230	g		1230	g
	Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe		Mezcla	Golpe	
Prueba A	09:40	10:16	h	12:39	14:17	h	15:12	15:42	h	14:40	15:46	h
Prueba B	10:00	10:26	h	13:01	14:28	h	15:26	15:57	h	14:57	15:58	h
Prueba C	10:08	10:43	h	13:39	14:39	h	14:20	15:34	h	10:46	11:16	h

Fuente: Propia.

Tabla 42*Peso específico aparente y peso unitario de especímenes 14 al 18.*

MTC E 514		A	C	B	Peso específico aparente (Gs Bulk) A/(B-C)		Peso unitario (kg/m ³) Gs Bulk x 997.0	
		Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Peso S.S.S. (g)				
21	A	1180	660	1180	2.269	2.263	2262.4	2256.0
	B	1170	660	1180	2.250		2243.3	
	C	1180	660	1180	2.269		2262.4	
28	A	1200	670	1200	2.264	2.236	2257.4	2229.5
	B	1200	670	1210	2.222		2215.6	
	C	1200	670	1210	2.222		2215.6	
29	A	1200	670	1200	2.264	2.252	2257.4	2244.9
	B	1210	680	1220	2.241		2234.0	
	C	1170	670	1190	2.250		2243.3	
30	A	1200	670	1210	2.222	2.235	2215.6	2227.9
	B	1210	680	1220	2.241		2234.0	
	C	1210	690	1230	2.241		2234.0	

Fuente: Propia.

Tabla 43

Altura de especímenes 28 al 30 compactados, para la corrección por estabilidad.

	Superior 1 (cm)	Superior 2 (cm)	Inferior 1 (cm)	Inferior 2 (cm)	Promedio (cm)	Área (cm²)	Volumen (cm³)	Espesor (cm)	Corrección estabilidad
21A	10.138	10.148	10.152	10.116	10.1	80.7	520	6.4	1.00
21B	10.140	10.152	10.178	10.166	10.2	81.1	520	6.4	1.00
21C	10.138	10.148	10.136	10.146	10.1	80.8	520	6.4	1.00
28A	10.148	10.154	10.158	10.148	10.2	80.9	530	6.5	0.96
28B	10.152	10.162	10.138	10.176	10.2	81.0	540	6.7	0.93
28C	10.152	10.148	10.150	10.580	10.3	82.6	540	6.5	0.93
29A	10.178	10.174	10.168	10.148	10.2	81.2	530	6.5	0.96
29B	10.160	10.154	10.152	10.144	10.2	81.0	540	6.7	0.93
29C	10.154	10.158	10.150	10.130	10.1	80.9	520	6.4	1.00
30A	10.164	10.158	10.158	10.152	10.2	81.0	540	6.7	0.93
30B	10.158	10.158	10.160	10.160	10.2	81.1	540	6.7	0.93
30C	10.160	10.150	10.158	10.460	10.2	82.2	540	6.6	0.93

Fuente: Propia.

Tabla 44

Estabilidad y flujo vía seca y húmeda de los ensayos 28 al 30.

ESTABILIDAD Y FLUJO									
Residuo asfáltico (61.9 % Emulsión)		4.52%	4.57%	4.57%	4.57%				
VÍA SECA		21B	28A	29B	30C				
A	Estabilidad (kgf)	4538.0	1970.0	2350.0	2239.0				
B	Corrección	1.00	0.96	0.93	0.93				
C	Estabilidad corregida (kgf) (A*B)	4538	1891	2186	2082				
Flujo		13.0	15.0	14.0	15.0				
VÍA HÚMEDA		21A	21C	28B	28C	29A	29C	30A	30B
D	Estabilidad (kgf)	3105	3150	1580	1562	1760	1520	1873	1874
E	Corrección	1.00	1.00	0.93	0.93	0.96	1.00	0.93	0.93
F	Estabilidad corregida (kgf) (D*E)	3105	3150	1469	1453	1690	1520	1742	1743
G	Promedio estabilidad (kgf)	3128		1461		1605		1742	
Flujo		12	11	16	16	17	17	17	16
Promedio Flujo		11.5		16		17		16.5	
				21	26	27	20		
Pérdida de estabilidad		31.1%	22.7%	26.6%	16.3%				
%Pérdida de estabilidad < 50%		Cumple	Cumple	Cumple	Cumple				
Después de saturación de vacíos e inmersión									

Nota: Estabilidad mínima 226.8 kgf, %Pérdida estabilidad < 50% y flujo 8 – 14. No cumple la estabilidad en ningún caso. Fuente: Propia.

Figura 32

Control térmico permanente.



Nota. Fotografía tomada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Fuente: Propia.

Figura 33

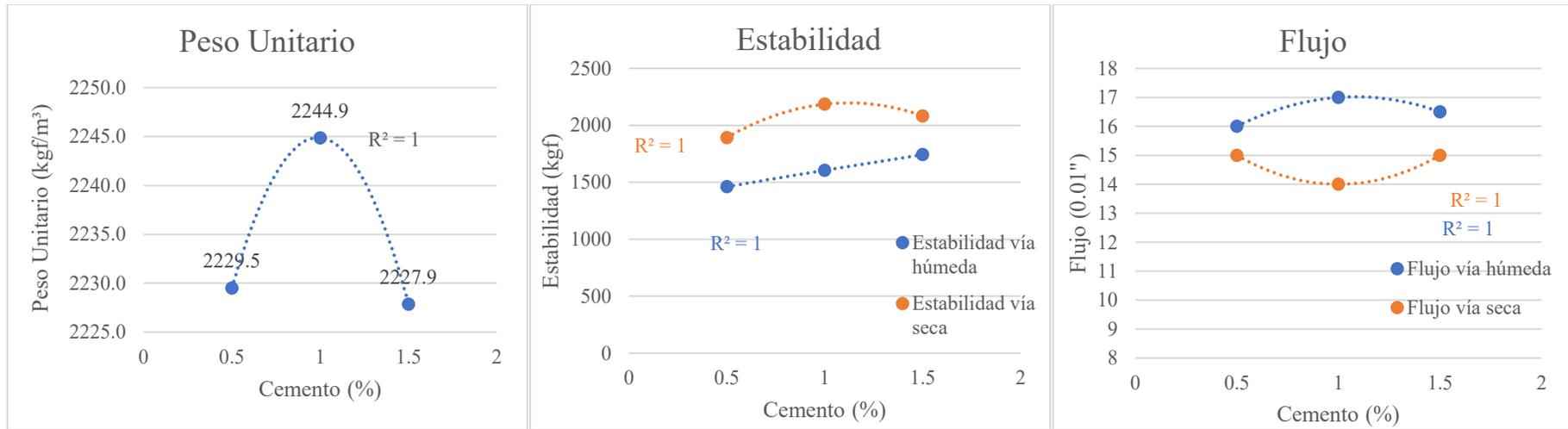
Especímenes 28 al 30 luego de ser ensayados en la prensa Marshall.



Nota. Fotografía tomada en las instalaciones de JBO Ingenieros S.A.C. Fuente: Propia.

Figura 34

Ploteo de curvas Marshall de los ensayos 28 al 30.



Fuente: Propia.

4.2.6. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Riedel – Weber)

Para determinar la afinidad entre el agregado fino y el ligante bituminoso se empleó emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero estireno – butadieno – estireno (CSS-1hP SBS), junto con la arena usada en el presenta capítulo. El tamizaje se hizo con las mallas N°30 y N°80 se tomó como referencia la norma colombiana (INV E - 774 - 13, 2013) en los tamices, debido a que en ninguno de los laboratorios contaban con la malla N°70. Se secó el material con una estufa y se emplearon 71 volúmenes de arena seca con 95 de emulsión manteniendo una temperatura ambiente de 22.1°C, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 45

Proporción de arena – emulsión para el ensayo Riedel Weber.

	Cantidad de Volúmenes (A)	Gravedad específica Bulk (B)	Volumen x Ge (AxB)	Porcentaje
Arena	71	2.583	183.36	65.9%
Emulsión	95	1.000	95.00	34.1%
			278.36	100.0%

Nota. El indicador temperatura para lograr el recubrimiento adecuado. Fuente: Propia.

Se preparó una mezcla de 20 g de arena y 10.36 g de emulsión. A continuación, se extrajo una muestra de 0.5 g de esta mezcla y se mezcló con 6 cm³ de agua destilada.

Tabla 46

Temperaturas de mezcla para determinar el índice de adhesividad.

Mezcla con	Temperatura °C
Betún	140 – 175
Betún fluidificado	25 – 110
Betún fluxado	50 – 110
Alquitrán	70 – 110
Emulsión bituminosa	Ambiente

Nota. La viscosidad determina la temperatura adecuada para lograr cubrir el agregado y ligante. Fuente: Extraído del Manual de ensayo de materiales (R.D. N°18-2016-MTC/14, 2016)

Figura 35

Mezcla de 20 g de arena con 10.36 g de emulsión.



Fuente: Propia.

Aunque la norma sugiere el uso de 1 Litro de agua destilada por la cantidad de moles de solución presentada, en este ensayo se emplearon 250 mL de agua destilada, lo cual corresponde a la cuarta parte de los moles de solución presentada, con el propósito de optimizar el uso de materiales, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 47

Concentración de carbonato de sodio usada.

Concentración	g Na ₂ CO ₃ / Litro solución	0.25 g Na ₂ CO ₃ / 250 mL solución
0		
1	M/256	0.41
2	M/128	0.83
3	M/64	1.66
4	M/32	3.31
5	M/16	6.63
6	M/8	13.25
7	M/4	26.50
8	M/2	53.00
9	M/1	106.00
10		
Total	211.586	52.896

Nota. Columna de la izquierda propuesta por la norma, lado derecho usado por el

tesista. Fuente: Propia.

Figura 36

Concentración usada $0.25 \text{ gNa}_2\text{CO}_3$ y 250 mL de agua destilada.

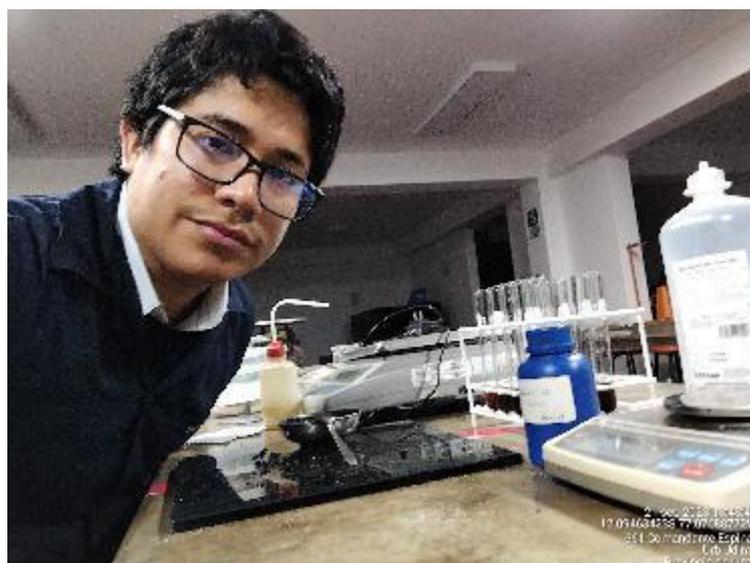


Fuente: Propia.

La proporción sigue siendo constante; por lo tanto, de esos 250 mL , junto con los gramos de carbonato de sodio disueltos, se verterán 6 cm^3 en el tubo de ensayo.

Figura 37

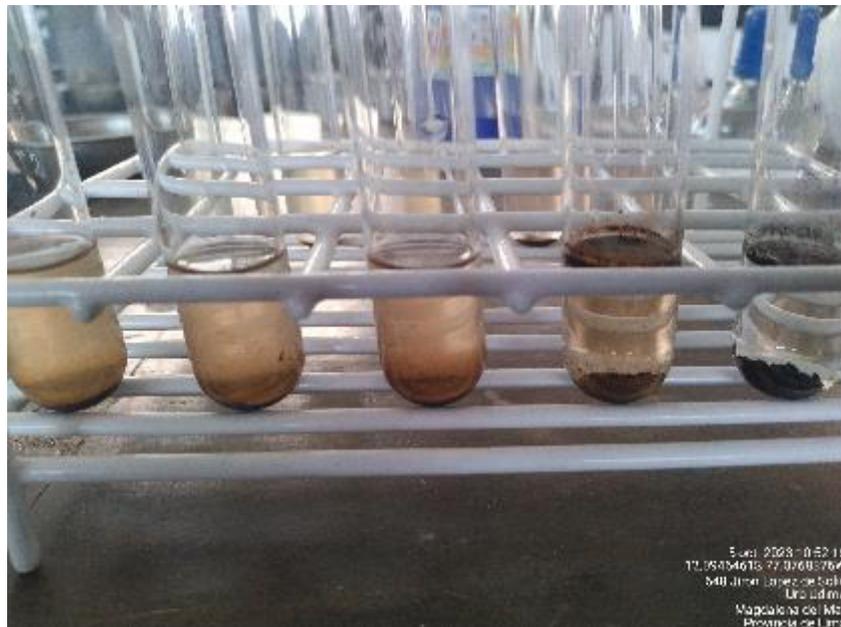
Ensayo Riedel Weber.



Nota. Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Villarreal. Fuente: Propia.

Figura 38

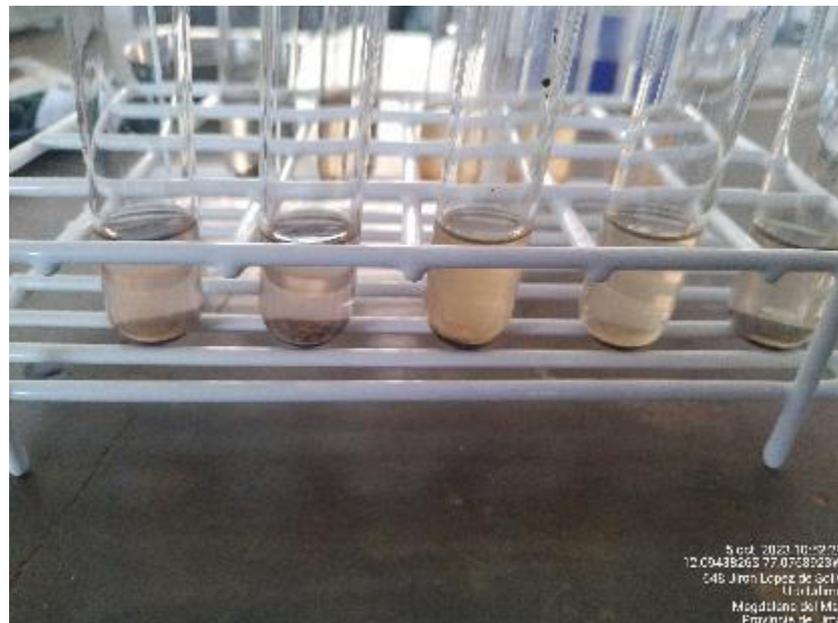
Concentraciones M/32, M/64, M/128, M/256 y sin concentración.



Nota. Las concentraciones se presentan de izquierda a derecha. Fuente: Propia.

Figura 39

Concentraciones M/16, M/8, M/4, M/2 y M/1.



Nota. Las concentraciones se presentan de izquierda a derecha. Fuente: Propia.

Al observar las 2 figuras anteriores, es evidente que en ninguno de los casos se produce un desprendimiento total de la emulsión y el agregado.

Figura 40

Desprendimiento parcial del ligante en las partículas finas, concentración M/16.



Nota. Fuente propia.

Encontramos que no se produjo un desprendimiento total, lo cual califica con un valor de 10. No obstante, se detectó un desprendimiento parcial a partir de la concentración M/16 de carbonato sódico (Na_2CO_3) por lo que le corresponde un segundo valor de 5.

Dando como resultado un índice de adhesividad de 10,5.

4.2.7. Medición de la cinética de hidratación de mezclas cementosas hidráulicas mediante calorimetría (ASTM C 1679-08, 2008)

El siguiente ensayo se realizó bajo la supervisión del personal de Ulmen con el propósito de demostrar que la mezcla entre emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero estireno – butadieno – estireno (CSS-1hP SBS), el Cemento Portland tipo I (Sol) y los agregados (saturados superficialmente secos) no presentan incidencia térmica, es decir, no experimenta una reacción exotérmica que pueda comprometer su durabilidad. Se utilizó como parámetro una temperatura de 60° C.

Figura 41

Ing. Diego A. Minaya supervisor de la Industria Ulmen sucursal Perú.



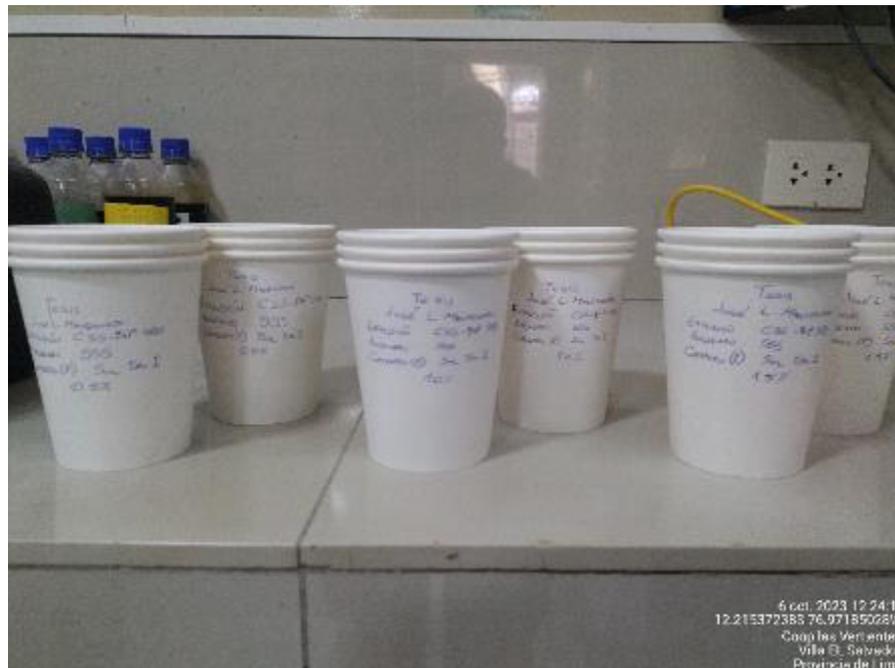
Nota. Laboratorios de la Industria Ulmen. Fuente: Propia.

Tabla 48

Dosificación de obra. Incidencia de la temperatura en la mezcla.

	CSS-1hP SBS + Agregado S.S.S. + Filler cemento								
	28			29			30		
Emulsión	7.30%	17.52	g	7.30%	17.52	g	7.30%	17.52	g
Cemento	0.50%	1.20	g	1.00%	2.40	g	1.50%	3.60	g
A.f. S.S.S.	56.00%	123.92	g	56.00%	123.24	g	56.00%	122.57	g
A.g. S.S.S.	44.00%	97.36	g	44.00%	96.84	g	44.00%	96.31	g
Peso Total		240	g		240	g		240	g

Nota. Tabla extraída del subtítulo IV.2.6, se cambió el peso total. Fuente: Propia.

Figura 42*Recipientes membretados.*

Nota. Laboratorios de la Industria Ulmen. Fuente: Propia.

Figura 43*Mezcla de la arena – piedra – filler cemento – emulsión modificada.*

Nota. Laboratorios de la Industria Ulmen. Fuente: Propia.

Figura 44

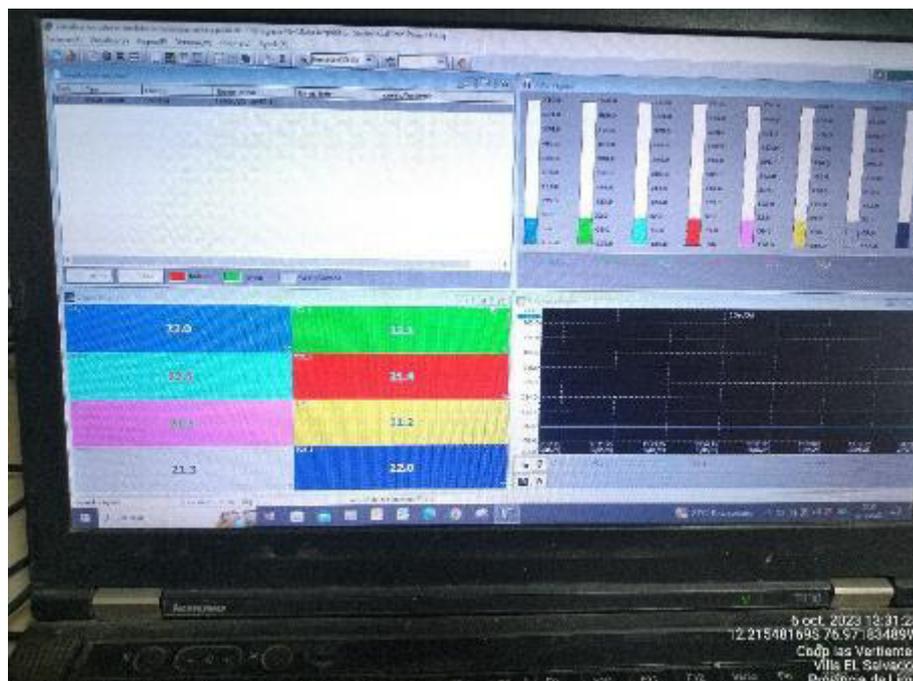
Cables conectados en el núcleo de la mezcla asfáltica.



Fuente: Propia.

Figura 45

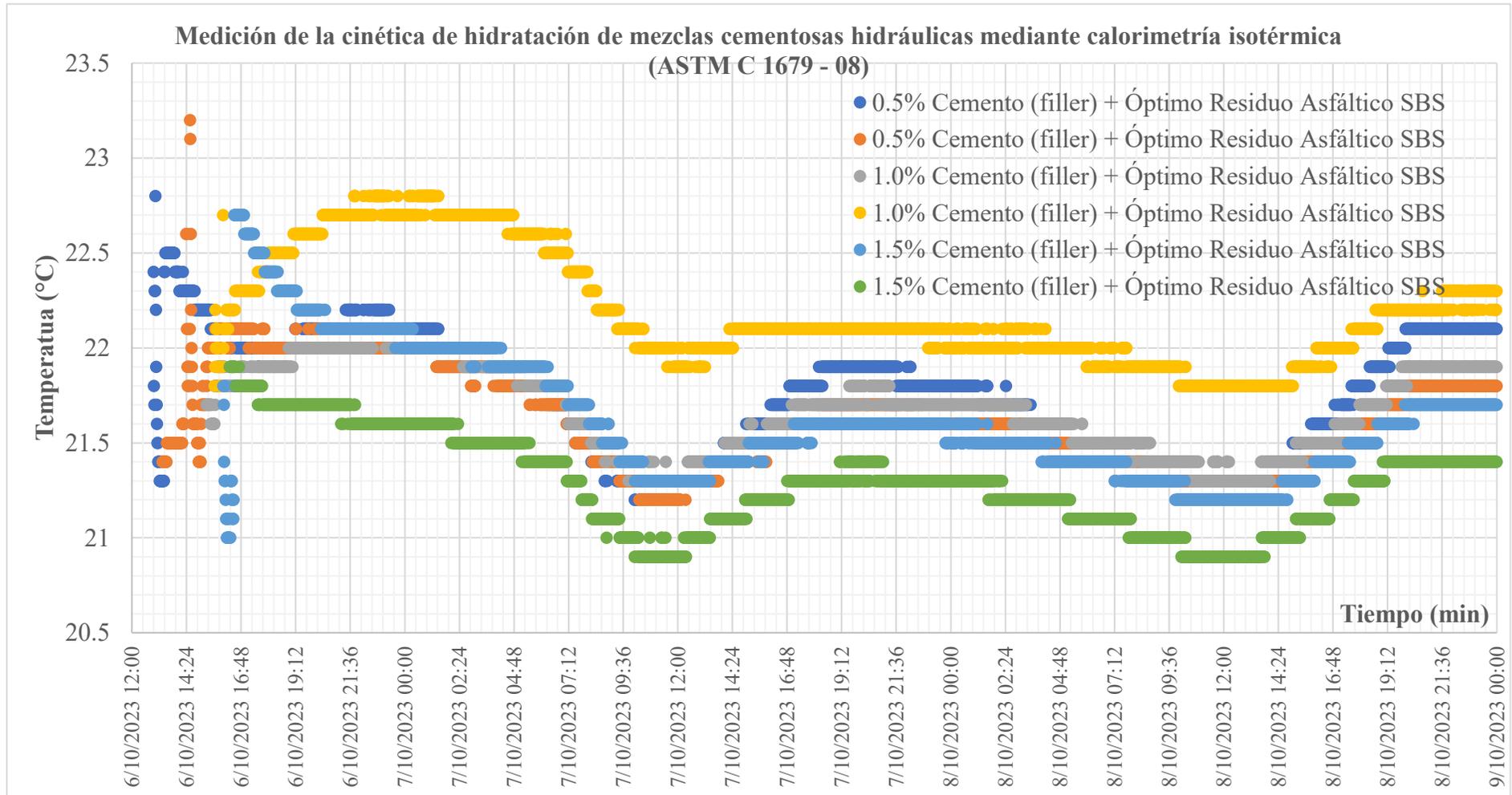
Software que registra la temperatura por minuto.



Fuente: Propia.

Figura 46

Curva calorimétrica Tiempo (°C) vs Temperatura (min). Registro tomado en 3 días.



Fuente: Propia.

En la gráfica, en el eje de las abscisas, se registran un total de 4063 minutos, y en cada minuto se registra un valor térmico. Se puede observar un ligero error en la calibración de las curvas amarilla y verde. Además, se observa una entrada y salida de energía, lo cual es inusual en un sistema termodinámico isotérmico. No obstante, el objetivo del experimento sigue manteniéndose, ya que no se observa un aumento de temperatura que supere los 23.5 °C. Esto sugiere que la mezcla entre la emulsión modificada con polímero SBS (CSS-1hP SBS) y filler cemento no ha alterado la temperatura de manera significativa a través de una reacción exotérmica, es decir, que esta reacción química de liberación de energía no afecta la durabilidad de la mezcla de forma importante.

Descartando así la posibilidad que la mezcla tenga una incidencia térmica y dejando a la temperatura ambiente agente externo con mayor incidencia térmica en la carpeta de rodadura.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Determinar la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío antes de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.

5.1.1. Recolección de resultados

La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) con agregados con humedad natural han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 49

Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 8 al 12.

Residuo Asfáltico	4.92 %		5.54 %		6.15 %		6.77 %		7.38 %	
Vacíos (%)	16.04	No cumple	10.49	No cumple	9.75	No cumple	9.53	No cumple	10.05	No cumple
VMA (%)	15.94	No exige	12.28	No exige	13.14	No exige	14.77	No exige	17.15	No exige
VFA (%)	-0.67	No exige	14.53	No exige	25.78	No exige	35.46	No exige	41.41	No exige
Densidad	2079		2193		2196		2179		2142	
Estabilidad vía seca (kgf)	803	Clase B	2400	Clase A	3171	Clase A	2183	Clase A	1358	Clase A
Flujo vía seca (0.01")	12	Clase A	12	Clase A	13	Clase A	17	Clase B	16	Clase B
Estabilidad vía húmeda (kgf)	642	Clase B	1084	Clase A	2610	Clase A	1797	Clase A	1169	Clase A
Flujo vía húmeda (0.01")	10	Clase A	12.5	Clase A	13.5	Clase A	15.5	Clase B	15.5	Clase B
Pérdida de estabilidad	20%	Cumple	55%	No cumple	18%	Cumple	18%	Cumple	14%	Cumple
Designación	Óptimo Clase A									

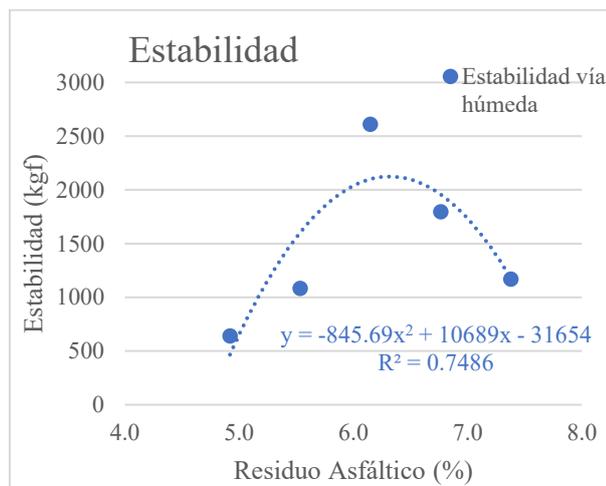
Nota. Se hizo revisión de los resultados obtenidos teniendo como referencia los parámetros establecidos en las secciones 423 y 424 del manual de carreteras (R.D. N°22-2013-MTC/14, 2013). Fuente: Propia.

5.1.2. Análisis de resultados

Los agregados en estado humedad natural en la zona costera de Lima a una temperatura promedio de 22.1° C le corresponde humedades de 0.36 % y 1.14 %, piedra y arena respectivamente.

Figura 47

Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 8 al 12.



Fuente: Propia.

Al esbozar los valores en la curva estabilidad vía húmeda se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = -845.69x^2 + 10689x - 31654 \quad \text{Ecuación 6}$$

Al derivar la función se obtiene un porcentaje de residuo asfáltico de 6.32 % que le corresponde una estabilidad vía húmeda probable de 2121.6 kgf siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras.

Así mismo el flujo le corresponde estar en clase A debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.14 pulg.

5.2. Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados saturados superficialmente secos.

5.2.1. Recolección de resultados

La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) con agregados con saturados superficialmente secos han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 50

Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 14 al

18.

Residuo Asfáltico	3.91 %		4.52 %		5.12 %		5.73 %		6.33 %	
Vacíos (%)	15.4	No cumple	16.1	No cumple	15.4	No cumple	14.7	No cumple	13.3	No cumple
VMA (%)	15.1	No exige	17.3	No exige	18.4	No exige	19.3	No exige	20.2	No exige
VFA (%)	-2.0	No exige	6.6	No exige	16.4	No exige	24.0	No exige	34.3	No exige
Densidad	2130		2097		2091		2091		2091	
Estabilidad vía seca (kgf)	2285	Clase A	2206	Clase A	2503	Clase A	3004	Clase A	3042	Clase A
Flujo vía seca (0.01")	12	Clase A	12	Clase A	13	Clase A	17	Clase C	16	Clase B
Estabilidad vía húmeda (kgf)	1748	Clase A	1819	Clase A	1717	Clase A	1975	Clase A	2328	Clase A
Flujo vía húmeda (0.01")	10.5	Clase A	13.5	Clase A	14.5	Clase B	13.5	Clase A	14.5	Clase B
Pérdida de estabilidad	23%	Cumple	18%	Cumple	31%	Cumple	34%	Cumple	23%	Cumple
Designación	Óptimo Clase A									

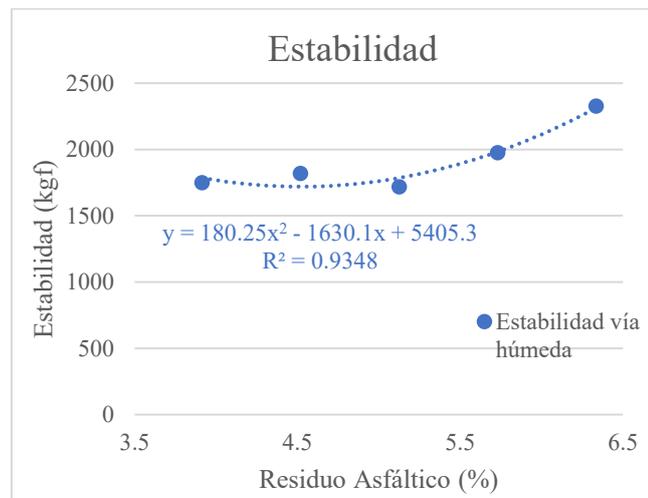
Nota. Se hizo revisión de los resultados obtenidos teniendo como referencia los parámetros establecidos en las secciones 423 y 424 del manual de carreteras (R.D. N°22-2013-MTC/14, 2013). Fuente: Propia.

5.2.2. Análisis de resultados

Los agregados en estado saturados superficialmente secos (S.S.S.) en la zona costera de Lima a una temperatura promedio de 22.1° C le corresponde humedades de 0.88 % y 2.89 %, piedra y arena respectivamente.

Figura 48

Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 14 al 18.



Fuente: Propia.

Al esbozar los valores en la curva estabilidad vía húmeda se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 180.25x^2 - 1630.1x + 5405.3 \quad \text{Ecuación 7}$$

No tendría sentido derivar la función ya que la concavidad se encuentra hacia arriba. Por lo que, según la tabla previa se tomará el valor de 4.52 % como óptimo. Obteniendo una estimación de estabilidad vía húmeda de 1720 kgf., siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras.

Así mismo el flujo le corresponde estar en clase A debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.14 pulg.

Se puede optimizar 1.8 % de ligante, si se incorpora agua a la mezcla.

5.3. Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.

5.3.1. Recolección de resultados

La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero SBS (CSS-1hP SBS) con agregados con saturados superficialmente secos han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 51

Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 20 al

27.

Residuo Asfáltico	2.66 %		3.28 %		3.90 %		4.52 %		5.14 %	
Vacíos (%)	12.9	No cumple	13.2	No cumple	11.0	No cumple	9.1	No cumple	8.4	No cumple
VMA (%)	7.9	No exige	10.9	No exige	10.7	No exige	10.8	No exige	11.8	No exige
VFA (%)	-63.4	No exige	- 20.8	No exige	-3.0	No exige	15.8	No exige	29.1	No exige
Densidad	2258		2206		2236		2256		2256	
Estabilidad vía seca (kgf)	1457	Clase A	2464	Clase A	3611	Clase A	4538	Clase A	3932	Clase A
Flujo vía seca (0.01")	10	Clase A	11	Clase A	12	Clase A	13	Clase A	13	Clase A
Estabilidad vía húmeda (kgf)	1001	Clase A	1117	Clase A	2447	Clase A	3128	Clase A	2425	Clase A
Flujo vía húmeda (0.01")	9	Clase A	9.5	Clase A	12.5	Clase A	11.5	Clase A	13	Clase A
Pérdida de estabilidad	31%	Cumple	55%	No Cumple	32%	Cumple	31%	Cumple	38%	Cumple
Designación	Óptimo Clase A									

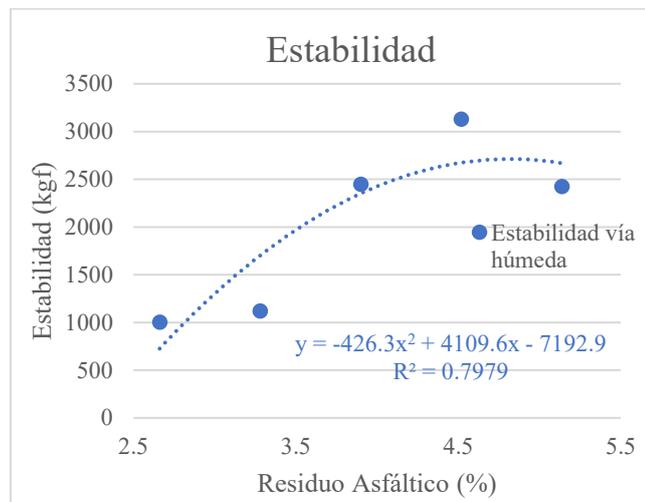
Nota. Se hizo revisión de los resultados obtenidos teniendo como referencia los parámetros establecidos en las secciones 423 y 424 del manual de carreteras (R.D. N°22-2013-MTC/14, 2013). Fuente: Propia.

5.3.2. Análisis de resultados

Los agregados en estado saturados superficialmente secos (S.S.S.) en la zona costera de Lima a una temperatura promedio de 22.1° C le corresponde humedades de 0.88 % y 2.89 %, piedra y arena respectivamente.

Figura 49

Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 20 al 27.



Fuente: Propia.

Al esbozar los valores en la curva estabilidad vía húmeda se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = -426.3x^2 + 4109.6x - 7192.9 \quad \text{Ecuación 8}$$

Al derivar la función se obtiene un porcentaje de residuo asfáltico de 4.82 % que le corresponde una estabilidad vía húmeda probable de 2711 kgf siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras.

Así mismo el flujo le corresponde estar en clase A debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.14 pulg.

Se puede optimizar 1.5 % de ligante y ganar 590 kgf, si se incorpora agua y polímero SBS a la mezcla.

5.4. Describir el incremento de la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.

5.4.1. Recolección de resultados

La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero SBS – filler cemento (CSS-1hP SBS + filler cemento) con agregados con saturados superficialmente secos han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 52

Resumen de resultados obtenidos en el ploteo de las curvas Marshall. Ensayos 21 y 28 al 30.

Residuo Asfáltico	4.52 %		4.57 %		4.57 %		4.57 %	
Filler cemento	0.0 %		0.5 %		1.0 %		1.5 %	
Densidad	2256		2229		2245		2228	
Estabilidad vía seca (kgf)	4538	Clase A	1891	Clase A	2186	Clase A	2082	Clase A
Flujo vía seca (0.01")	13	Clase A	15	Clase B	14	Clase A	15	Clase B
Estabilidad vía húmeda (kgf)	3128	Clase A	1461	Clase A	1605	Clase A	1742	Clase A
Flujo vía húmeda (0.01")	11.5	Clase A	16	Clase B	17	Clase C	16.5	Clase C
Pérdida de estabilidad	31%	Cumple	23%	Cumple	27%	Cumple	16%	Cumple
Designación	Óptimo Clase B							

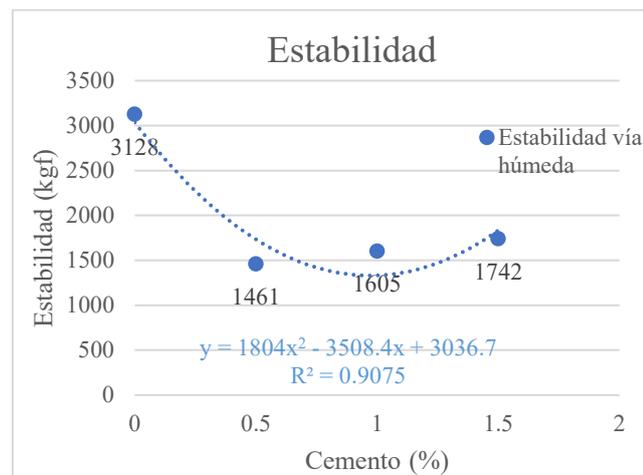
Nota. Se hizo revisión de los resultados obtenidos teniendo como referencia los parámetros establecidos en las secciones 423 y 424 del manual de carreteras (R.D. N°22-2013-MTC/14, 2013). Fuente: Propia.

5.4.2. Análisis de resultados

Los agregados en estado saturados superficialmente secos (S.S.S.) en la zona costera de Lima a una temperatura promedio de 22.1° C le corresponde humedades de 0.88 % y 2.89 %, piedra y arena respectivamente.

Figura 50

Función de estabilidad vía húmeda de los ensayos 21 y 28 al 30.



Fuente: Propia.

Al esbozar los valores en la curva estabilidad vía húmeda se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 1804x^2 - 3508.4x + 3036.7 \quad \text{Ecuación 9}$$

No tendría sentido derivar la función ya que la concavidad se encuentra hacia arriba. Por lo que, según la tabla previa se tomará el valor de 4.57 % con 0.5 % de filler – cemento como óptimo. Obteniendo una estimación de estabilidad vía húmeda de 1733.5 kgf., siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras.

Así mismo el flujo le corresponde estar en clase B debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.16 pulg.

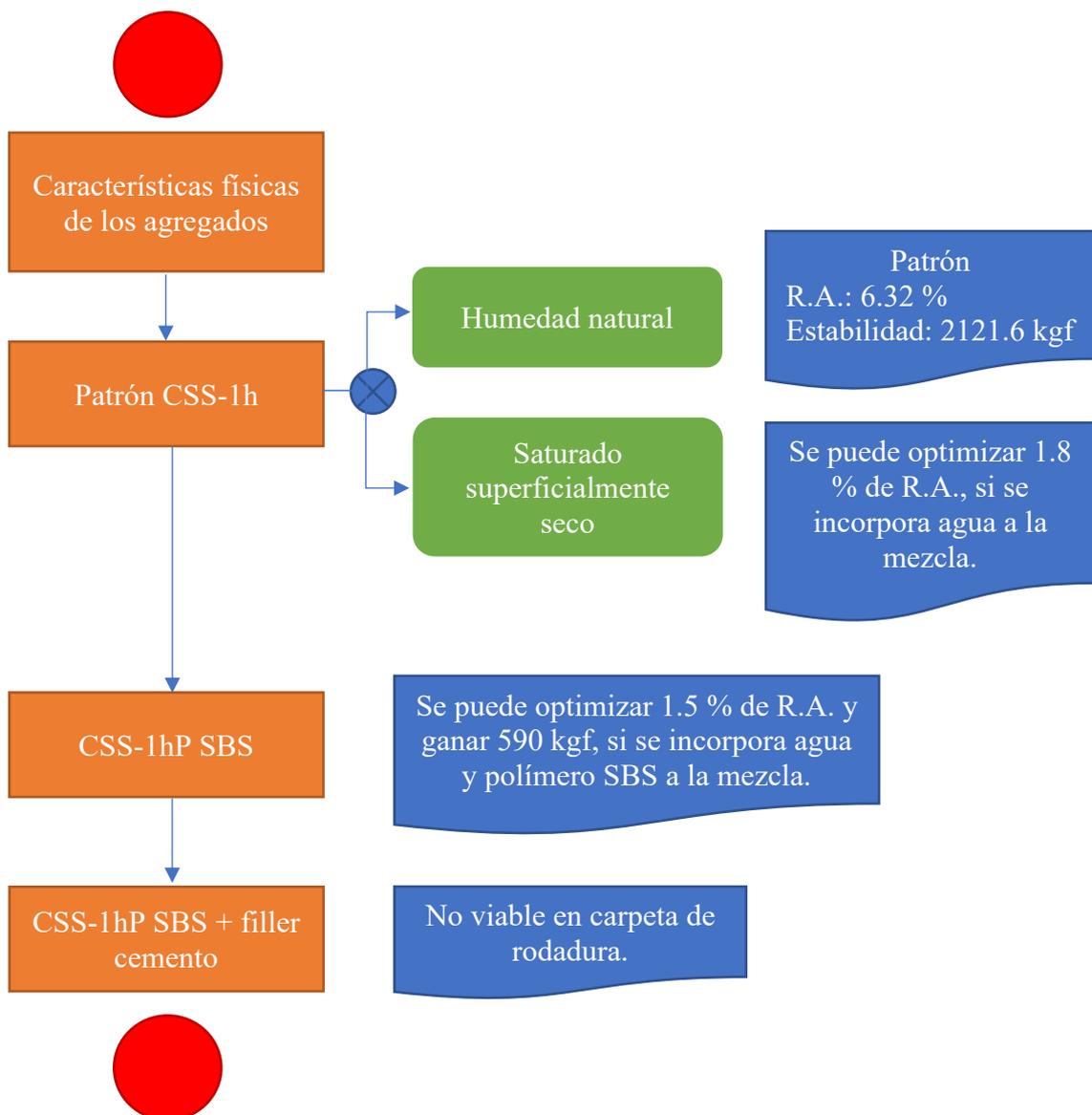
Se puede optimizar 1.75 % de ligante, si se incorpora agua, polímero y cemento a la mezcla. Sin embargo, no es una alternativa para nada viable en carpeta de rodadura.

5.5. Determinar la forma en cómo podemos diseñar mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS – filler cemento para mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.

El procedimiento final de diseño que se usó es el siguiente:

Figura 51

Flujograma de procedimiento de mezcla.



Nota. Propia.

5.6. Discusión hipótesis específicas

5.6.1. Hipótesis específica 1

Ho: No mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío al humedecer el agregado a saturado superficialmente seco.

Ha: Mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío al humedecer el agregado a saturado superficialmente seco.

Tabla 53

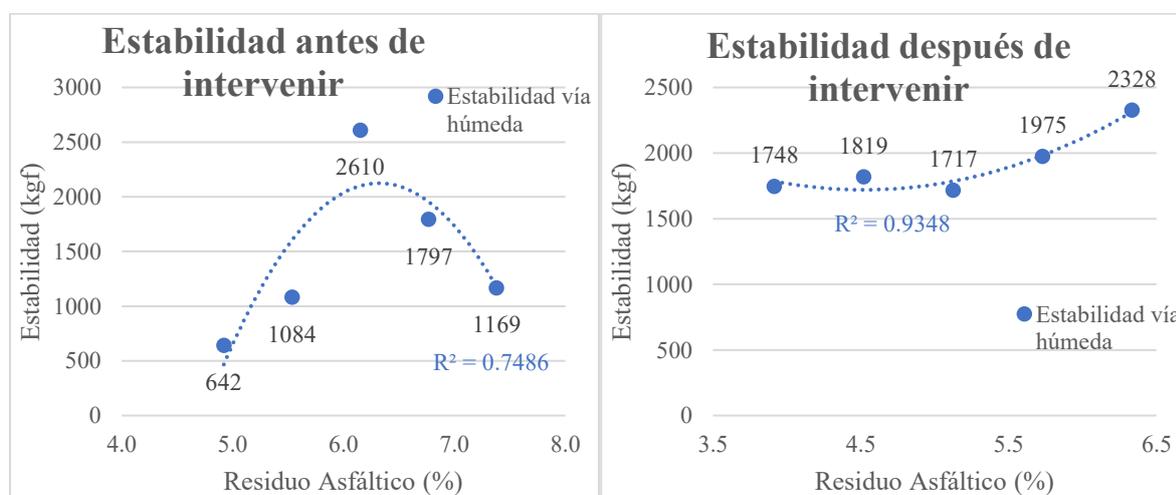
Medias de cada ensayo obtenidos del ensayo Marshall vía húmeda.

Estabilidad vía húmeda					
Ensayo	Antes de intervenir		Ensayo	Después de intervenir	
	CSS-1h agregado Húmedo (β_1)			CSS-1h agregado S.S.S. (β_2)	
8	-	642	14	1847	1649
9	1136	1031	15	1814	1825
10	2590	2629	16	1671	1762
11	1880	1714	17	1891	2059
12	1081	1257	18	2279	2376

Fuente: Propia.

Figura 52

Estabilidad antes y después de intervenir.



Nota. La gráfica de la izquierda corresponde a CSS-1h con agregado con humedad

natural, el de la derecha corresponde a CSS-1h con agregado S.S.S. Fuente: Propia.

Tabla 54

Resumen de procesamiento de casos.

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Antes	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
Después1	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 55

Descriptivos.

		Estadístico	Desv. Error	
Antes	Media	1.473,3333	233,56441	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	934,7328	
		Límite superior	2.011,9338	
	Media recortada al 5%	1.455,3148		
	Mediana	1.180,0000		
	Varianza	490.971,000		
	Desv. Desviación	700,69323		
	Mínimo	642,00		
	Máximo	2.629,00		
	Rango	1.987,00		
	Rango intercuartil	1.096,00		
	Asimetría	1,007	,717	
	Curtosis	-,233	1,400	
	Después1	Media	1.925,1111	86,39468
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	1.725,8846	
		Límite superior	2.124,3376	
Media recortada al 5%		1.915,4012		
Mediana		1.825,0000		
Varianza		67.176,361		
Desv. Desviación		259,18403		
Mínimo		1.649,00		
Máximo		2.376,00		
Rango		727,00		
Rango intercuartil		452,50		
Asimetría		,869	,717	
Curtosis		-,519	1,400	

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 56

Prueba de normalidad.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Antes	,288	9	,030	,836	9	,052
Después1	,219	9	,200*	,889	9	,196

Nota. *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. ^a. Corrección de

significación de Lilliefors. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

El P-valor (sig.) es mayor al valor alfa 0.05 se acepta la distribución normal.

$0.052 \geq 0.05$ Acepta la distribución normal.

$0.196 \geq 0.05$ Acepta la distribución normal.

Se acepta la hipótesis nula (Ho), Ho= Los datos provienen de una distribución normal.

Se procede a analizar los datos, comparar medias por la prueba T para muestras relacionadas.

Tabla 57

Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par	Antes	1.473,3333	9	700,69323	233,56441
1	Después1	1.925,1111	9	259,18403	86,39468

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 58

Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Antes & Después1	9	-,244	,526

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 59*Prueba de muestras emparejadas, T-Student.*

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Antes – Después1	-451,77778	804,31660	268,10553	-1.070,03025	166,47469	-1,685	8	,130

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Decisión: $0.130 \geq 0.05$ Se acepta H_0 .

Interpretación:

H₀: No mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío al humedecer el agregado a saturado superficialmente seco.

Siendo $H_0 = \beta_1 = \beta_2$. No hay diferencia significativa entre usar solo la emulsión CSS-1h con agregado con humedad natural y la emulsión CSS-1h con agregado saturado superficialmente seco.

5.6.2. Hipótesis específica 2

Ho: No mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.

Ha: Mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.

Se tiene los siguientes datos extraídos de los resultados del ensayo Marshall:

Tabla 60

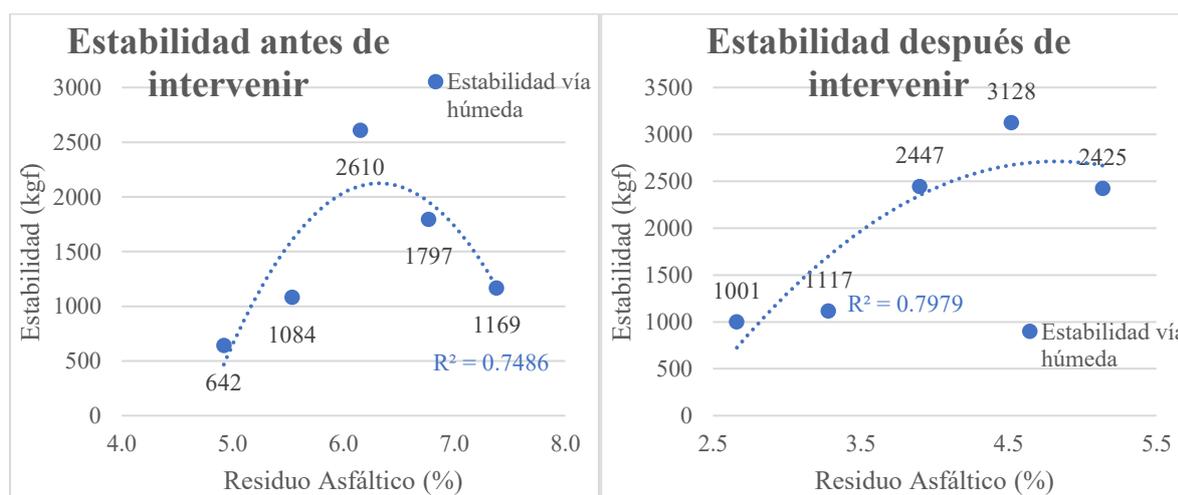
Medias de cada ensayo obtenidos del ensayo Marshall vía húmeda.

Estabilidad vía húmeda					
Ensayo	Antes de intervenir		Ensayo	Después de intervenir	
	CSS-1h agregado Húmedo (β_1)			CSS-1hP SBS agregado S.S.S. (β_2)	
8	-	642	26	966	1036
9	1136	1031	27	1247	988
10	2590	2629	20	2525	2369
11	1880	1714	21	3105	3150
12	1081	1257	22	2417	2433

Fuente: Propia.

Figura 53

Estabilidad antes y después de intervenir.



Nota. La gráfica de la izquierda corresponde a CSS-1h con agregado con humedad natural, el de la derecha corresponde a CSS-1hP SBS con agregado S.S.S. Fuente: Propia.

Tabla 61*Resumen de procesamiento de casos.*

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Antes	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
Después2	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 62*Descriptivos.*

		Estadístico	Desv. Error	
Antes	Media	1.473,3333	233,56441	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	934,7328	
		Límite superior	2.011,9338	
	Media recortada al 5%	1.455,3148		
	Mediana	1.180,0000		
	Varianza	490.971,000		
	Desv. Desviación	700,69323		
	Mínimo	642,00		
	Máximo	2.629,00		
	Rango	1.987,00		
	Rango intercuartil	1.096,00		
	Asimetría	1,007	,717	
	Curtosis	-,233	1,400	
	Después2	Media	2.141,1111	280,32538
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.494,6796
Límite superior			2.787,5426	
Media recortada al 5%		2.149,1235		
Mediana		2.417,0000		
Varianza		707.240,861		
Desv. Desviación		840,97614		
Mínimo		988,00		
Máximo		3.150,00		
Rango		2.162,00		
Rango intercuartil		1.673,50		
Asimetría		-,422	,717	
Curtosis		-1,447	1,400	

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 63*Prueba de normalidad.*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Antes	,288	9	,030	,836	9	,052
Después2	,273	9	,051	,858	9	,091

Nota.^a. Corrección de significación de Lilliefors. IBM SPSS Statistic versión 25.

Elaboración propia.

El P-valor (sig.) es mayor al valor alfa 0.05 se acepta la distribución normal.

$0.665 \geq 0.05$ Acepta la distribución normal.

$0.300 \geq 0.05$ Acepta la distribución normal.

Se acepta la hipótesis nula (Ho), Ho= Los datos provienen de una distribución normal.

Se procede a analizar los datos, comparar medias por la prueba T para muestras relacionadas.

Tabla 64*Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.*

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Antes	1.473,3333	9	700,69323	233,56441
	Después2	2.141,1111	9	840,97614	280,32538

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 65*Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.*

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Antes & Después2	9	,469	,203

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 66*Prueba de muestras emparejadas, T-Student.*

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Antes - Después2	-667,77778	803,38966	267,79655	-1.285,31774	-50,23782	-2,494	8	,037

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Decisión: $0.037 \leq 0.05$ Se rechaza H_0 .**Interpretación:**

Ha: Mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.

Siendo $H_0 = \beta_1 \neq \beta_2$. Hay diferencia significativa entre usar solo la emulsión CSS-1h y la emulsión modificada CSS-1hP SBS.

5.6.3. Hipótesis específica 3

Ho: La durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento no incrementará.

Ha: La durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento incrementará.

Se tiene los siguientes datos extraídos de los resultados del ensayo Marshall:

Tabla 67

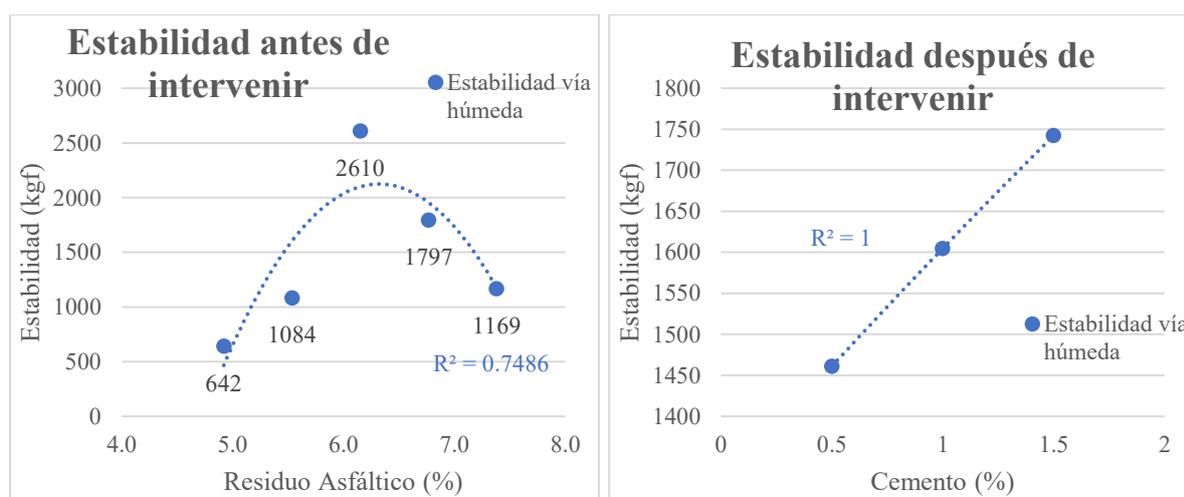
Medias de cada ensayo obtenidos del ensayo Marshall vía húmeda.

Estabilidad vía húmeda					
Ensayo	Antes de intervenir CSS-1h agregado Húmedo (β_1)		Ensayo	Después de intervenir CSS-1hP SBS – filler cemento agregado S.S.S. (β_2)	
	8	-		642	28
9	1136	1031	29	1690	1520
10	2590	2629	30	1742	1743
11	1880	1714			
12	1081	1257			

Fuente: Propia.

Figura 54

Estabilidad antes y después de intervenir.



Nota. La gráfica de la izquierda corresponde a CSS-1h con agregado con humedad natural, el de la derecha corresponde a CSS-1hP SBS – filler cemento con agregado S.S.S.

Tabla 68*Resumen de procesamiento de casos.*

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Antes	6	60,0%	4	40,0%	10	100,0%
Después3	6	60,0%	4	40,0%	10	100,0%

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 69*Descriptivos.*

		Estadístico	Desv. Error	
Antes	Media	1.713,3333	299,46215	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	943,5414	
		Límite superior	2.483,1253	
	Media recortada al 5%	1.700,3704		
	Mediana	1.447,0000		
	Varianza	538.065,467		
	Desv. Desviación	733,52946		
	Mínimo	1.031,00		
	Máximo	2.629,00		
	Rango	1.598,00		
	Rango intercuartil	1.490,00		
	Asimetría	,593	,845	
	Curtosis	-2,134	1,741	
	Después3	Media	1.602,8333	55,92699
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	1.459,0684	
		Límite superior	1.746,5982	
Media recortada al 5%		1.603,3704		
Mediana		1.605,0000		
Varianza		18.766,967		
Desv. Desviación		136,99258		
Mínimo		1.453,00		
Máximo		1.743,00		
Rango		290,00		
Rango intercuartil		277,25		
Asimetría		-,025	,845	
Curtosis		-2,890	1,741	

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 70

Prueba de normalidad.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Antes	,266	6	,200*	,817	6	,083
Después3	,238	6	,200*	,824	6	,096

Nota. *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. ^a. Corrección de significación

Lilliefors. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

El P-valor (sig.) es mayor al valor alfa 0.05 se acepta la distribución normal.

$0.083 \geq 0.05$ Acepta la distribución normal.

$0.096 \geq 0.05$ Acepta la distribución normal.

Se acepta la hipótesis nula (Ho), Ho= Los datos provienen de una distribución normal.

Se procede a analizar los datos, comparar medias por la prueba T para muestras relacionadas.

Tabla 71

Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Antes	1.713,3333	6	733,52946	299,46215
	Después3	1.602,8333	6	136,99258	55,92699

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 72

Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Antes & Después3	6	,211	,688

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 73*Prueba de muestras emparejadas, T-Student.*

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Antes - Después3	110,50000	717,25553	292,81835	-642,21352	863,21352	,377	5	,721

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Decisión: $0.721 \geq 0.05$ Se acepta H_0 .**Interpretación:****H₀:** La durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento no incrementará.Siendo $H_0 = \beta_1 = \beta_2$. No hay diferencia significativa entre usar solo la emulsión CSS-1h con agregado con humedad natural y la emulsión modificada CSS-1hP SBS – filler cemento con agregado saturado superficialmente seco.

5.7. Discusión hipótesis general.

Ho: Determinando la forma en cómo podemos diseñar mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS – filler cemento no mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.

Ha: Determinando la forma en cómo podemos diseñar mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS – filler cemento mejora la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.

Se demostró previamente en las hipótesis específicas que las mezclas asfálticas en frío tienen una distribución normal por el método de Shapiro-Wilk al tener sus niveles de significancia mayores al valor alfa. Por lo que sus distribuciones son normalizadas.

Se procede a analizar los datos, comparar medias por la prueba T para muestras relacionadas.

Tabla 74

Estadísticas de muestras emparejadas, T-Student.

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Antes	1.473,3333	9	700,69323	233,56441
	DespuésH1	1.925,1111	9	259,18403	86,39468
Par 2	Antes	1.473,3333	9	700,69323	233,56441
	DespuésH2	2.141,1111	9	840,97614	280,32538
Par 3	Antes	1.713,3333	6	733,52946	299,46215
	DespuésH3	1.602,8333	6	136,99258	55,92699

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 75

Correlaciones de muestras emparejadas, T-Student.

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Antes & DespuésH1	9	-,244	,526
Par 2	Antes & DespuésH2	9	,469	,203
Par 3	Antes & DespuésH3	6	,211	,688

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Tabla 76

Prueba de muestras emparejadas, T-Student.

		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Antes - DespuésH1	-451,77778	804,31660	268,10553	-1.070,03025	166,47469	-1,685	8	,130
Par 2	Antes - DespuésH2	-667,77778	803,38966	267,79655	-1.285,31774	-50,23782	-2,494	8	,037
Par 3	Antes - DespuésH3	110,50000	717,25553	292,81835	-642,21352	863,21352	,377	5	,721

Nota. IBM SPSS Statistic versión 25. Elaboración propia.

Las hipótesis nulas son aceptadas en el caso de las comparaciones entre el par 1 (CSS-1h con agregado natural) y el par 3 (CSS-1hP SBS – filler cemento con agregado en S.S.S.). Esto indica que no hay una diferencia significativa cuando se realiza la mezcla en frío entre estos dos grupos de muestras. Sin embargo, en el caso del par 2 (CSS-1hP SBS con agregado en S.S.S.), la hipótesis nula es rechazada. Esto implica que existe una variación estadísticamente significativa al mezclar CSS-1hP SBS con agregado en S.S.S. en comparación con las otras condiciones.

Ha: Determinando la forma en cómo podemos diseñar mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS – filler cemento mejora la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.

Las hipótesis Al revisar la tabla comparativa realizada por López Jácome & Veloz Vásquez (2013), se observa que el porcentaje de residuo asfáltico óptimo en una mezcla asfáltica en frío sin modificar es del 6.00%, lo cual es bastante similar al valor obtenido en nuestra investigación, que fue del 6.32%. Sin embargo, notamos una diferencia significativa en los valores de estabilidad. Esto podría deberse a la cantidad de golpes a la que sometimos las probetas durante nuestra investigación.

Mientras que en nuestra investigación aplicamos 75 golpes, siguiendo la recomendación de la empresa SEOING, la norma MS-14 (2009) sugiere realizar solo 50 golpes. Esta disparidad en el número de golpes podría explicar las diferencias en los valores de estabilidad entre los dos estudios.

El estudio de Cuba (2018) sugiere que la máxima estabilidad en una mezcla en frío se logra cuando se espera un período de 24 horas antes de compactarla, permitiendo que cure y rompa durante ese tiempo. Esto contrasta con la recomendación del personal de TDM Asfaltos, que aconseja un período de espera de solo 2 horas antes de someter la mezcla a compactarla. Por lo que todos los especímenes han sido compactados luego de las 2 horas, dato que podría ser influyente en la estabilidad.

VI. CONCLUSIONES

En la investigación realizada con los 15 especímenes de emulsión CSS-1h con agregado con humedad natural, 15 emulsión CSS-1h con agregado en estado S.S.S., 15 emulsión CSS-1hP SBS con agregado en estado S.S.S. y 9 emulsión CSS-1hP SBS - filler cemento con agregado en estado S.S.S ensayados en Lima a temperatura ambiente de 22.1°C, se llegó a la conclusión que podemos obtener el diseño óptimo utilizando polímero SBS con agregado en estado S.S.S.

- 1) La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) con agregados con humedad natural que le corresponde humedades de 0.36 % y 1.14 %, piedra y arena respectivamente. Se obtiene un residuo asfáltico de 6.32 % que le corresponde una estabilidad vía húmeda probable de 2121.6 kgf siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras. Así mismo el flujo le corresponde estar en clase A debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.14 pulg.
- 2) La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) con agregados con saturados superficialmente secos que le corresponde humedades de 0.88 % y 2.89 %, piedra y arena respectivamente. Se obtiene un óptimo contenido de residuo asfáltico de 4.52 %, cuenta con una estimación de estabilidad vía húmeda de 1720 kgf, siendo una resistencia que cumple lo establecido en el manual de carreteras. Así mismo el flujo le corresponde estar en clase A debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.14 pulg. Se puede optimizar 1.8 % de ligante, si se incorpora agua a la mezcla. Al comparar con la prueba T para muestras relacionadas antes y después de aumentar la humedad (aumentar el agua en la mezcla), se acepta la hipótesis nula. No mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con

mezcla asfáltica en frío al humedecer el agregado a saturado superficialmente seco. No hay diferencia significativa entre usar solo la emulsión CSS-1h con agregado con humedad natural y la emulsión CSS-1h con agregado saturado superficialmente seco. Pero si puede haber una diferencia económica al optimizar 1.8 % residuo asfáltico por agua.

- 3) La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero SBS (CSS-1hP SBS) con agregados con saturados superficialmente secos le corresponde humedades de 0.88 % y 2.89 %, piedra y arena respectivamente. Se obtiene un óptimo contenido de residuo asfáltico de 4.82 % que le corresponde una estabilidad vía húmeda probable de 2711 kgf siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras. Así mismo el flujo le corresponde estar en clase A debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.14 pulg. Se puede optimizar 1.5 % de ligante y ganar 590 kgf en estabilidad, si se incorpora agua y polímero SBS a la mezcla. Se comparó las medias por la prueba T para muestras relacionadas, antes y después de modificarlo con polímero, rechazándose la hipótesis nula. Mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.
- 4) La mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero SBS – filler cemento (CSS-1hP SBS + filler cemento) con agregados con saturados superficialmente secos le corresponde humedades de 0.88 % y 2.89 %, piedra y arena respectivamente. Se obtiene un residuo asfáltico de 4.57 % con 0.5 % de filler – cemento como óptimo que le corresponde una estabilidad vía húmeda probable de 1733.5 kgf, siendo una resistencia que está dentro de lo establecido en el manual de carreteras. Así mismo

el flujo le corresponde estar en clase B debido a que está comprendido entre 0.08 – 0.16 pulg. Se puede optimizar 1.75 % de ligante, si se incorpora agua, polímero y cemento a la mezcla. Se procede a analizar los datos, comparar medias por la prueba T para muestras relacionadas antes y después de modificarlo con polímero e incorporarle cemento, aceptándose la Hipótesis nula. La durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento no incrementará. No hay diferencia significativa entre usar solo la emulsión CSS-1h con agregado con humedad natural y la emulsión modificada CSS-1hP SBS – filler cemento con agregado saturado superficialmente seco.

- 5) Incorporarle cemento no es una alternativa viable.
- 6) Respecto a la adhesividad entre el agregado fino y la emulsión encontramos que no se produjo un desprendimiento total, lo cual califica con un valor de 10. No obstante, se detectó un desprendimiento parcial a partir de la concentración M/16 de carbonato sódico (Na_2CO_3) por lo que le corresponde un segundo valor de 5. Dando como resultado un índice de adhesividad de 10,5. Lo que garantiza una durabilidad en la adherencia.
- 7) Respecto a la incidencia térmica que ocurre entre el cemento y el polímero SBS no se observa un aumento de temperatura que supere los 23.5 °C. Esto sugiere que la mezcla entre la emulsión modificada con polímero SBS (CSS-1hP SBS) y filler cemento no ha alterado la temperatura de manera significativa a través de una reacción exotérmica, es decir, que esta reacción química de liberación de energía no afecta la durabilidad de la mezcla de forma importante. Descartando así la posibilidad que la mezcla tenga una incidencia térmica en la carpeta de rodadura de adentro hacia afuera.

VII. RECOMENDACIONES

- 1) Se sugiere la mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura (CSS-1h) con agregados con saturados superficialmente secos debido a que hay un ahorro de residuo asfáltico.
- 2) Si se desea dar una mayor durabilidad al pavimento recomiendo que se opte por la mezcla en frío con emulsión catiónica de rotura lenta de baja viscosidad y de consistencia dura modificada con polímero SBS (CSS-1hP SBS) con agregados con saturados superficialmente secos.
- 3) No recomiendo la incorporación de cemento en la mezcla con polímero debido a que no da buena respuesta mecánica.
- 4) Como línea de investigación recomiendo profundizar en el parámetro de sostenibilidad del tiempo de vida útil de la mezcla asfáltica en frío, evaluación térmica y económica, siendo estos parámetros de CSS-1h S.S.S., CSS-1hP SBS S.S.S. y una mezcla en caliente patrón.

VIII. REFERENCIAS

- Adam, N. (1977). *Tecnología del Concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Alarcon, D. y Cárdenas, M. (2021). *Mezcla Asfáltica modificada con polímeros SBS para la optimización de las propiedades de la mezcla asfáltica*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP://hdl.handle.net/20.500.14138/4698
- Almeida, M. y Segura, K. (2022). *Diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado de la provincia de Pichincha y recomendaciones en sus usos*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/20206>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of pavement structures*. AASHTO.
- Ames, H. (2021). *Mezcla Asfáltica en frío con incorporación de relleno mineral para una alta resistencia mecánica, Huancayo 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio Institucional UPLA://hdl.handle.net/20.500.12848/2711
- ASTM C 1679-08. (2008). *Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Usign Isothermal Calorimetry* (Vol. 04.02). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C1679-08>
- Benites Huarcaya, J. (2022). *Efecto de la temperatura de la emulsión catiónica tipo CSS-1h para imprimación de bases granulares*. Huancayo: [Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio Institucional UPLA://hdl.handle.net/20.500.12848/5352
- Contreras Chávez, J. L. (2020). *Efecto de la incorporación de relleno mineral sobre las propiedades reológicas del asfalto en frío (Método Illinois), Huancayo 2019*. Huancayo: [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6898>

- Cuba Cárdenas, P. L. (2018). *Influencia del tiempo de espera para compactación, en las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica en frío con emulsión CSS-1h, aplicado en el distrito de Quilcas - Huancayo 2017*. Huancayo: [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4917>
- Daneri Bravo, P. (2018). *Evaluación de las propiedades mecánicas de adoquines de asfalto <<Adofaltos>>, con sustitución de cemento portland puzolánico como filler*. Chile: [Tesis de pregrado, Universidad del Valparaíso]. Repositorio Institucional UV: <http://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvscl/2626>
- Dash, S., Chandrappa, A. y Sahoo, U. (2022). Design and performance of cold mix asphalt – A review. *Construction and Building Materials*, 315, 125687. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125687>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821034218>
- Gavino, H. (2022). *Resistencia mecánica de mezcla asfálticas en frío con adición de poliestireno expandido Huacayo, Junín 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes]. Repositorio Institucional UPLA: <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4133>
- Ghafar, S., Mohd, M. y Hassan, N. (12 de December de 2022). Laboratory investigation of cup lump modified bitumen emulsion. *Construction and Building Materials*, 359, 129471-129485. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129471>
- Google Maps. (mayo de 2022). *Cordillera Negra*. Obtenido de Google maps: <https://goo.gl/maps/oc7VyrbqMrFoNR4x8>;
<https://goo.gl/maps/VBifRfGyzpeXzZQK8>;
<https://goo.gl/maps/w66iXEZ8rgXDcy9d7>
- Hernandez, R. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ta ed.). McGraw-Hill.
- Hong, W., Mo, L., Pan, C., Riara, M., Wei, M. y Zhang, J. (12 de December de 2019). Investigation of rejuvenation and modification of aged asphalt binders by using

aromatic oil-SBS polymer blend. *Construction and Building Materials*, 359, 117154-117167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117154>

Huallanca Mitma, F. J. (2020). *Ejecución, verificación y seguimiento de reciclado de asfalto en frío con emulsión en el tramo IV y V de la Carretera Central*. Lima: [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN: <https://hdl.handle.net/11537/26445>

INVE-774-13. (2013). Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Método Riedel - Weber). Colombia: INVIAS. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-774-13.pdf>

Kenyi, A. (2019). *Modificación de mezcla asfáltica mediante la incorporación de polímeros SBS en la Av. Santa Callao, entre la Av. Naranjal y la Av. Alisos*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47921>

Levin, R., Rubin, D., Bohon, J. y Ramos, B. (2010). *Estadística para administración y economía* (7a ed.). Pearson.

López Jácome, S. W. y Veloz Vásquez, Y. A. (2013). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba*. Sangolqui: [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6533>

Minaya, S. y Ordoñez, A. (2012). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. (2da ed.). ICG.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras - Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013*. MTC. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Suelos geología, geotecnia y pavimentos*.

Lima:

MTC.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

MS-14. (2009). *Asphalt Cold Mix Manual N°14*. USA: AEMA.

MS-19. (2004). *Basic Asphalt Emulsion Manual N°19*. USA: AEMA.

Nacional, P. (26 de Junio de 2023). *Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional*. <https://www.gob.pe/25948-consultar-el-estado-de-la-red-vial-nacional-de-provias-nacional>

Oficina de Repositorio Científico. (2021). *Guía para la presentación de trabajos de investigación*.

http://www.unfv.edu.pe/vrin/images/documentos_gestion/bc/2021/Resoluciones/Guia_paralapresentaciondetrabajos.pdf

Ortegon, D. y Villabon, A. (2018). *Evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica en frío mediante fibras kevlar*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena]. Repositorio Institucional UniPiloto: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5766>

Pasquel Carbajal, E. (1999). *Tópicos de tecnología del concreto*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

Portilla Yandún, F. P. y Ushiña Toapanta, J. M. (2020). *Diseño de adoquines con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados reciclados y no reciclados*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30702>

Quispe Torres, G. (2022). *Desempeño óptimo de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Polímero Styrene Butadiene Styrene*. [Tesis de postgrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5601>

R.D. N°10-2014-MTC/14. (2014). *Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y*

- pavimentos*. Lima: El Peruano.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- R.D. N°18-2016-MTC/14. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: El Peruano.
 Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- R.D. N°22-2013-MTC/14. (2013). *Manual de carreteras*. Lima: El Peruano. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Ramírez Montenegro, M. A. (2015). Optimización de las mezclas asfálticas en frío utilizando Asfalto Líquido MC-30 y agregados de las canteras san Martín y Cerro Campana, Trujillo – La Libertad. *Cientifi-K*, 3(1), 77–84.
<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/cientifi-k/article/view/1377>.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). *NORMA CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima: Sencico. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Reyes, F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. (1ra ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rivera E., G. (1998). *Emulsiones asfálticas*. (4a ed.). Alfaomega.
- Rivera, J., Battista, N., Oviedo, A., Rebollo, O., Zapata, I., Fensel, E., Delbono, H. y Martínez, A. (2023). Cold mix asphalt with polymeric stone for low traffic volume roads. *Construction and Building Materials*, 401, 132714.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132714>
- Roncal Davila, J. (2021). *Diseño de asfalto en frío con emulsión CSSIHP y monofilamentos de polipropileno para mejorar resistencias en zonas altas de Moquegua 2021*. Lima: [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/68329>

- Santas, D. y Estrada, C. (2021). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosilice respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28*. Cusco: [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional UAC: <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5006>
- Shanbara, H., Dulaimi, A., Al-Mansoori, T., Al-Busaltan, S., Herez, M., Monower, S. y Abdel-Wahed, T. (2021). The future of eco-friendly cold mix asphalt. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111318. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111318>
- Tedla, T. A. (2023). Effects of air voids on comprehensive laboratory performance of cold mix containing recycled asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 368, 130416. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130416>
- Wu, S., Omar, T., Colton, S. y Ian, A. (2022). Case study: Characterization of short-term field aged asphalt binders in cold mix asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 324, 126643. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126643>

IX. ANEXO

9.1. Anexo A. Matriz de consistencia

Tabla 77

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS
Problema General: ¿De qué forma podemos obtener el diseño óptimo de mezclas asfálticas en frío utilizando polímero SBS - filler cemento para mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima?	Objetivo General: Determinar el diseño óptimo de mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS – filler cemento para mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.	Hipótesis Principal: Determinado el diseño óptimo de diseñar mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS – filler cemento mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos, Lima.
Problema Específico 1: ¿Cómo se ha determinado la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío antes de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento?	Objetivo Específico 1: Describir cómo se ha determinado la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío antes de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.	Hipótesis Específica 1: Mejorará la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados superficialmente secos.
Problema Específico 2: ¿Cuánto podría mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados saturados superficialmente secos?	Objetivo Específico 2: Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando agregados saturados superficialmente secos.	
Problema Específico 3: ¿Cómo mejorar la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS?	Objetivo Específico 3: Describir la mejora de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS.	Hipótesis Específica 2: Mejorará de la durabilidad de la carpeta de rodadura en avenida Cordillera Negra Chorrillos con mezcla asfáltica en frío utilizando polímero SBS
Problema Específico 4: ¿Podría incrementarse la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento?	Objetivo Específico 4: Comparar el incremento de la durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero tipo SBS – filler cemento.	Hipótesis Específica 3: La durabilidad de la mezcla asfáltica en frío después de ser modificado con polímero SBS – filler cemento incrementará.

Fuente: Elaboración propia.

9.2. Anexo B. Matriz operacionalización de variables

Tabla 78

VARIABLES	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN TÉCNICA	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable Independiente:					
Mezcla asfáltica en frío	La mezcla asfáltica en frío es una mezcla de agregados, emulsión asfáltica y aditivos que se utiliza en la construcción y mantenimiento de carreteras.	MTC E 215	Humedad del agregado	Humedad natural Saturado superficialmente seco	Contenido de humedad: Cocina a gas
		MS-14 Asphalt Cold Mix Manual MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual	Polímero SBS	Contenido de residuo asfáltico	
			Filler cemento	Contenido de cemento	
Variable Dependiente:					
Durabilidad carpeta rodadura	La durabilidad de la carpeta asfáltica es una medida de la capacidad del pavimento para resistir el desgaste y la degradación debido al tráfico vehicular y las condiciones ambientales.	MTC E 504	1. Estabilidad Residuo asfáltico vs estabilidad	> 226.78 kgf	Ensayo Marshall: Prensa Marshall
		MTC E 504	2. Flujo Residuo asfáltico vs flujo	0.08 pulg. – 0.14 pulg.	Ensayo Marshall: Prensa Marshall
		ASTM C1679-08	3. Temperatura Tiempo vs temperatura	Temperatura < 60° C	Cinética de hidratación de una mezcla hidráulica de cemento mediante calorimetría isotérmica
		MTC E 220	4. Reología Adherencia	Desplazamiento del ligante 0 - 10	Ensayo Riedel Weber

Fuente: Elaboración propia.

9.3. Anexo C. Fichas técnicas de los productos

Figura 55

Emulsión catiónica de rotura lenta fabricado por TDM asfaltos.




EMULTEC CSS-1H

EMULSIÓN CATIÓNICA DE ROTURA LENTA

INFORME DE ENSAYO N° 071-2023 EMULTEC CSS-1H

GUIA TDM ASFALTOS: 1000-0000075
 CLIENTE: JOSE LUIS MALDONADO HUAMAN

REFERENCIAS:
 TANQUE: _____ CINTILLO DE SEGURIDAD N°: _____
 LOTE DE PRODUCCIÓN: LAR _____
 CANTIDAD: 1 GALÓN _____
 FECHA DE PRODUCCIÓN: 26/06/2023 _____

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °C	D 7496	ssf	20	100	37
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas	D 6930	%	--	1	0.7
DESTILACIÓN	D 6997	--			
- CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL	D 6997	%	57	--	61.5
- CONTENIDO DE DISOLVENTES	D 6997	%	--	--	0
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 6933	%	--	0.1	0.01
MEZCLA CON CEMENTO	D 6935	%	--	2	0.0
CARGA DE PARTÍCULA	D 7402		POSITIVA		POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	40	90	59
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min	D 113	cm	40	--	92.7
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D 2042	%	97.5	--	99.75

OBSERVACIONES: El producto cumple especificaciones ASTM D 2397-2013
 Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada
 PE: 1.00
 Se adjunta Hoja de Seguridad del Producto y Hoja Resumen Art. 54 D.S.N°021-2008-MTC

CÓDIGO DE CONTRAMUESTRA: S/C

Original: Cliente
Cargo: Laboratorio

TDMASFALTOS S.A.C.

.....

TOMAS ROQUE
Asistente de Laboratorio

Fecha de Emisión : Lima, 27 de Junio del 2023

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169311

Figura 56

Emulsión Catiónica de rotura lenta modificada con polímero.



EMULTEC CSS-1HP

EMULSIÓN CATIÓNICA DE ROTURA LENTA MODIFICADA CON POLIMERO

INFORME DE ENSAYO N° 070-2023 EMULTEC CSS-1HP

GUIA TDM ASFALTOS :	T056-0000075		
CLIENTE:	JOSE LUIS MALDONADO HUAMANI		
TANQUE:	_____	CINTILLO DE SEGURIDAD N°:	_____
LOTE DE PRODUCCIÓN:	LAB		_____
CANTIDAD:	1 GALÓN		_____
FECHA DE PRODUCCIÓN:	23/05/2023		_____

ENSAYOS SOBRE EMULSIÓN	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °C	D 7496	ssf	20	100	38
RESIDUO POR EVAPORACION	D 6934	%	60	--	61.9
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas	D 6930	%	--	1	0.6
SEDIMENTACION A LOS 7 DIAS	D 6930	%	--	5	2.2
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 6933	%	--	0.1	0.01
MEZCLA CON CEMENTO	D 6935	%	--	2	0.4
CARGA DE PARTICULA	D 7402			POSITIVA	POSITIVA

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	50	90	53
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D 36	°C	45	--	61.5
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min	D 113	cm	10	--	36.5
RECUPERACION ELASTICA LINEAL, 25°C, 20 cm	D 8084	%	30	--	57.0
RECUPERACION ELASTICA TORSIONAL, 25°C	NLT 329*	%	20	--	40.0

- OBSERVACIONES:
1. El producto cumple especificaciones de calidad, en concordancia con MTC - EG 2013
 2. Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada
 3. PE:1.00
 4. (*) Corresponde a otro metodo de ensayo, Norma española
 5. Se adjunta Hoja de Seguridad del Producto y Hoja Resumen Art. 54 D.S. N°021-2008-MTC

CÓDIGO DE CONTRAMUESTRA: S/C

Original: Cliente
Cargo: Laboratorio

TDM ASFALTOS S.A.C.

TOMÁS ROQUE
Asistente de Laboratorio

Fecha de Emisión: Lima, 27 de Junio del 2023

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6168311



Calibración, Certificación,
Validación y Mantenimiento
de Equipos de Laboratorio

SERVICIO DE CALIDAD EN MAGNITUD S.A.C.

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SCM LF-23092801

N° DE COTIZACION : 026-SCM-2023

N° DE O.T. : OT-020-2023

1. SOLICITANTE : JBO INGENIEROS S.A.C.

2. DIRECCIÓN : Calle Valladolid N° 149 Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate.

3. EQUIPO CALIBRADO : PRENSA MARSHALL

EQUIPO		INDICADOR		CELDA	
MARCA	: Humbolt	MARCA	: No Indica	MARCA	: Mavin
MODELO	: H1339B.2F	MODELO	: No Indica	MODELO	: NS4-5t
N° SERIE	: 2820	SERIE	: No Indica	SERIE	: E6701288
ALCANCE	: 10 000 Lb.	RESOLUCIÓN	: 1 kg	CAPACIDAD	: 5 tn
CÓDIGO	: JBO-003-PMR-01	CÓDIGO	: No Indica	CÓDIGO	: No Indica

4. EQUIPO EMPLEADO

CELDA DE CARGA		INDICADOR	
Marca	: OAP	Marca	: MCC
Serie	: 55P4336	Modelo	: SAFIR
Modelo	: ZSF-A	Carga nominal	: 100 000 kg
Capacidad	: 100 000 kg		

Certificado de Calibración : INF-LE 190-14B

5. PROCEDIMIENTO :

La verificación se realizó según el Método C de la norma ASTM E4-10.

El procedimiento consistió en la aplicación de tres series de cargas referenciales. En cada serie, para los diferentes valores leídos, se registrarán las lecturas del patrón utilizado para la verificación.

6. RESULTADOS :

En la tabla N° 1 se presentan las tres series de verificación obtenidas, la serie promedio, el error absoluto y la repetitividad.

La calibración está referida a las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura : 20.5 °C Humedad : 61.5 % Presión : 953.0 mbar

7. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACION:

Laboratorio de Asfalto - JBO INGENIEROS S.A.C.

Lima, 28 de Setiembre de 2023

8. FECHA DE EMISIÓN:

Lima, 30 de Setiembre de 2023

JULIO ROY ESTRELLA ESPINOZA
INGENIERO DE SISTEMAS
Reg. CIP N° 142408



Calibración, Certificación,
Validación y Mantenimiento
de Equipos de Laboratorio

SERVICIO DE CALIDAD EN MAGNITUD S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SCM LF-23092801

Tabla N 1: Prensa Marshall

Lectura de la máquina (kg)	Lectura del patrón (kg)			Fuerza Patrón PROMEDIO (kg)	Fuerza Curva de ajuste (kg)	Errores			U (kg)
	Serie 1	Serie 2	Serie 3			Ea (%)	b' (%)	b (%)	
	543	574.4	572.0			574.9	574	545	
298	294.5	300.5	298.8	298	301	0.0	2.0	108.0	13.22
1250	1230.5	1245.8	1255.6	1244	1251	0.5	2.0	48.6	13.21
2020	2018.5	2019.7	2020.6	2020	2019	0.0	0.1	21.2	13.21
2560	2530.8	2575.8	2588.4	2565	2558	0.2	2.2	32.1	13.22
3200	3199.8	3201.5	3201.5	3201	3197	0.0	0.1	58.5	13.21
3510	3528.4	3504.8	3496.4	3510	3506	0.0	0.9	27.0	13.33
4570	4580.4	4558.4	4570.6	4570	4564	0.0	0.5	301.9	13.24

Donde:

Valor medio: Promedio de las lecturas del patrón en cada valor de verificación

Ea : Error absoluto de acuerdo a la norma ASTM E4-10

b' : Error de repetibilidad de acuerdo a la norma ASTM E4-10

b: Error de reproducibilidad de acuerdo a la norma ASTM E4-10

U: Incertidumbre con un factor de cobertura de k = 2

JULIO ROY ESTRELLA ESPINOZA
INGENIERO DE SISTEMAS

Reg. CIP N° 142408

Calle Valladolid 151 Urb. Mayorazgo II Etapa Ate, Lima Peru
Teléfonos: (511) 683 0477 / 683 0476 / 975 578787. rpe: 994269669. rpm: # 419090.
E-mail: informesscm@gmail.com

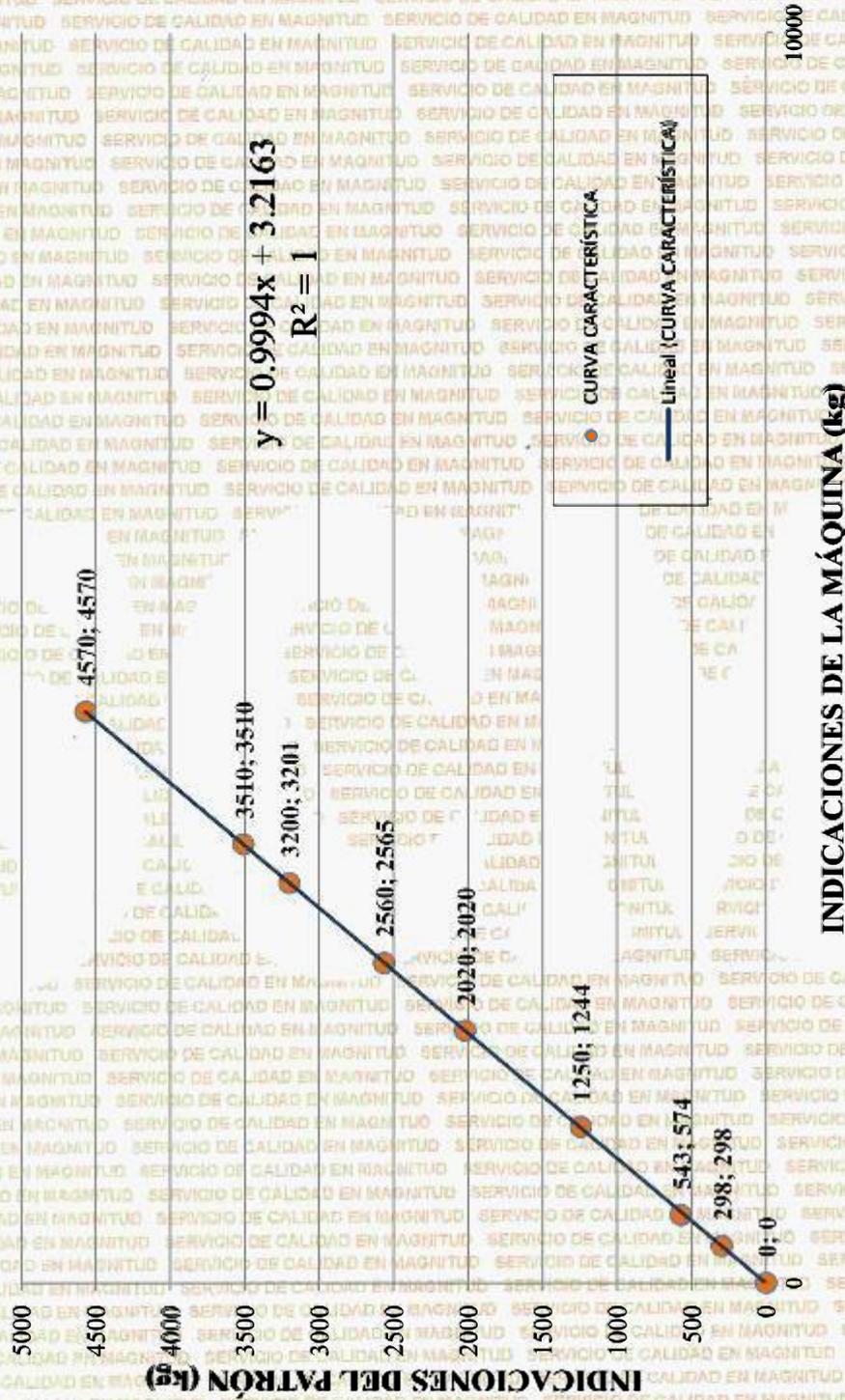


Calibración, Certificación,
Validación y Mantenimiento
de Equipos de Laboratorio

SERVICIO DE CALIDAD EN MAGNITUD S.A.C.

Página No 3 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SCM LF-23092801
CURVA CARACTERÍSTICA



CURVA CARACTERÍSTICA
Lineal (CURVA CARACTERÍSTICA)

Fin de certificado

Julio Roy Estrella Espinoza
JULIO ROY ESTRELLA ESPINOZA
INGENIERO DE SISTEMAS
Reg. CIP N° 142408

9.4. Anexo D. Fotos

Figura 57

Estado actual del terreno, cabezas duras, discontinuidad en la granulometría.



Fuente: Fotografía propia.

Figura 58

Estado actual del terreno.



Fuente: Fotografía propia.

Figura 59

Fotografía tomada en el cruce Av. Cordillera Negra y Jr. Carhuarazo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 60

Rotura y curado de la mezcla asfáltica en frío.



Nota. Se extiende por 2 horas para luego ser compactado 75 golpes. Fuente: Propia.

Figura 61

Asesoría técnica de Sergio Estrada Oblea gerente general de SEOING.



Nota. Se conversó de los procesos en planta y la mecánica del asfalto. Fuente: Propia.

Figura 62

Asesoría técnica de asfalto en frío de Faria Luiz Eduardo de Oliveira gerente general de Grupo Methodus.



Nota. Se conversó de la incidencia térmica. Fuente: Propia.

Figura 63

Operación de planta de asfalto móvil continua iNova 1200.



Nota. Para comprobar la factibilidad de la mezcla asfáltica en frío. Fuente: Propia.

9.5. Anexo E. Panel fotográfico de ensayos

Tabla 79

Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1h (Desperdicio asfáltico 61.5%)

+ Agregados con humedad natural.

Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1h (Desperdicio asfáltico 61.5%) + Agregados con humedad natural					
N°	8	9	10	11	12
Emulsión	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %
Contenido asfalto	4.92 %	5.54 %	6.15 %	6.77 %	7.38 %
Peso de material					
	1468 g	1465 g	1462 g	1452 g	1450 g
Peso de material + frasco + agua (en agua)					
	8556 g	8548 g	8542 g	8530 g	8522 g

Fuente: Propia.

Tabla 80

Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1h (Desperdicio asfáltico 60.5%)

+ *Agregado superficialmente seco.*

Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1h (Desperdicio asfáltico 60.5%) + Agregado superficialmente seco					
N°	14	15	16	17	18
Emulsión	6.47 %	7.47 %	8.47 %	9.47 %	10.47 %
Contenido asfalto	3.91 %	4.52 %	5.12 %	5.73 %	6.33 %
Peso de material					
	1469 g	1457 g	1450 g	1445 g	1441 g
Peso de material + frasco + agua (en agua)					
	8566 g	8555 g	8544 g	8536 g	8524 g

Fuente: Propia.

Tabla 81

Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1hP SBS (Desperdicio asfáltico 61.9%) + Agregado superficialmente seco.

Peso Específico Teórico Máximo (MTC E 508): CCS-1hP SBS (Desperdicio asfáltico 61.9%) + Agregado superficialmente seco					
N°	26	27	20	21	22
Emulsión	4.30 %	5.30 %	6.30 %	7.30 %	8.30 %
Contenido asfalto	2.66 %	3.28 %	3.90 %	4.52 %	5.14 %
Peso de material					
	1479 g	1476 g	1474 g	1474 g	1457 g
Peso de material + frasco + agua (en agua)					
	8589 g	8576 g	8568 g	8561 g	8546 g

Fuente: Propia.

Tabla 82

Peso específico aparente tanda 8.

8		
Peso Seco	Peso Húmedo	Peso S.S.S.
730 g	370 g	740 g
A		
	600 g	1150 g
B		
1140 g	560 g	1070 g
		
C	1070 g	
		

Fuente: Propia.

Tabla 83

Peso específico aparente tanda 9.

9		
Peso Seco	Peso Húmedo	Peso S.S.S.
1170 g	640 g	1170 g
A		
		
1170 g	650 g	1180 g
B		
		
1180 g	640 g	1180 g
C		
		

Fuente: Propia.

Tabla 84

Peso específico aparente tanda 10.

10		
Peso Seco	Peso Húmedo	Peso S.S.S.
1150 g	630 g	1160 g
A		
		
1170 g	640 g	1170 g
B		
		
1160 g	640 g	1160 g
C		
		

Fuente: Propia.

Tabla 85

Peso específico aparente tanda 11.

11			
	Peso Seco	Peso Húmedo	Peso S.S.S.
	1100 g	600 g	1110 g
A			
	1150 g	640 g	1160 g
B			
	1160 g	640 g	1170 g
C			

Fuente: Propia.

Tabla 86

Peso específico aparente tanda 12.

		12		
		Peso Seco	Peso Húmedo	Peso S.S.S.
		1160 g	620 g	1170 g
A				
		1150 g	630 g	1170 g
B				
		1170 g	640 g	1170 g
C				

Fuente Propia.

Tabla 87

Peso específico aparente tanda 14.

14			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1140 g	620 g	1150 g
			
B	1160 g	630 g	1170 g
			
C	1160 g	620 g	1170 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 88

Peso específico aparente tanda 15.

15			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1150 g	610 g	1160 g
			
B	1160 g	620 g	1170 g
			
C	1160 g	620 g	1170 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 89

Peso específico aparente tanda 16.

16			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1150 g	610 g	1160 g
			
B	1150 g	610 g	1160 g
			
C	1140 g	610 g	1150 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 90

Peso específico aparente tanda 17.

17			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1150 g	620 g	1160 g
			
B	1160 g	610 g	1170 g
			
C	1150 g	610 g	1160 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 91

Peso específico aparente tanda 18.

18			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1160 g	620 g	1180 g
			
B	1150 g	630 g	1170 g
			
C	1150 g	620 g	1170 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 92

Peso específico aparente tanda 26.

	26		
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1190 g	680 g	1210g
			
B	1170 g	660 g	1180 g
			
C	1080 g	610 g	1080 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 93

Peso específico aparente tanda 27.

27			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1180 g	660 g	1200 g
			
B	1180 g	660 g	1190 g
			
C	1180 g	660 g	1190 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 94

Peso específico aparente tanda 20.

20			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1170 g	660 g	1170 g
			
B	1180 g	660 g	1190 g
			
C	1170 g	650 g	1180 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 95

Peso específico aparente tanda 21.

21			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1180 g	660 g	1180 g
			
B	1170 g	660 g	1180 g
			
C	1180 g	660 g	1180 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 96

Peso específico aparente tanda 22.

22			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1170 g	660 g	1180 g
			
B	1180 g	660 g	1180 g
			
C	1180 g	660 g	1180 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 97

Peso específico aparente tanda 28.

28			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1200 g	670 g	1200 g
			
B	1200 g	670 g	1210 g
			
C	1200 g	670 g	1210 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 98

Peso específico aparente tanda 29.

29			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1200 g	670 g	1200 g
			
B	1210 g	680 g	1220 g
			
C	1170 g	670 g	1190 g
			

Fuente: Propia.

Tabla 99

Peso específico aparente tanda 30.

30			
	Peso seco	Peso húmedo	Peso S.S.S.
A	1200 g	670 g	1210 g
			
B	1210 g	680 g	1220 g
			
C	1210 g	690 g	1230 g
			

Fuente: Propia.