



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN EN CARRETERAS,
PUENTES Y TÚNELES**

**MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR
COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA
VIAL CON MENCIÓN EN CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES**

AUTOR

ROMERO PUMAYALI, JORGE

(ORCID: 0000-0003-1154-0304)

ASESOR

CHAVARRY VALLEJOS, CARLOS MAGNO

(ORCID: 0000-0003-0512-8954)

LIMA, PERÚ

2023

Metadatos Complementarios

Datos de autor

Romero Pumayali, Jorge

Tipo de documento de identidad del AUTOR: DNI

Número de documento de identidad del AUTOR: 04822844

Datos de asesor

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

Tipo de documento de identidad del ASESOR: DNI

Número de documento de identidad del ASESOR: 07410234

Datos del jurado

JURADO 1: Valencia Gutierrez, Andres Avelino, DNI N° 07065758, ORCID 0000-0002-8873-189X

JURADO 2: Aramayo Pinazo, Francisco Antonio, DNI N° 01322435, ORCID 0000-0001-9463-3930

JURADO 3: Montalvo Farfan, Marco Antonio, DNI N° 08029624, ORCID 0000-0001-6391-879X

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 732527

Código del Programa: 2.01.05



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

LEGISLACIÓN INSTITUCIONAL RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 340-DIR-UNRIP/2000

Rectorado
Secretaría General



ANEXO N°1

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, JORGE ROMERO PUMAYALI, con código de estudiante N° 202112609 con (DNI o Carné de Extranjería) N° 04822844, con domicilio en Calle Manuel Pazos N° 365, Piso 1, Zona A distrito San Juan de Miraflores, provincia y departamento de Lima, en mi condición de (Magister) en Ingeniería Vial con mención en carreteras, puentes y túneles de la (Escuela de Posgrado) Universidad Ricardo Palma, declaro bajo juramento que:

La presente tesis titulado: "MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO" es de mi única autoría, bajo el asesoramiento del docente Doctor Chavarría Vallejos, Carlos Magno y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el de similitud final.

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

Asimismo, ratifico plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de mi conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumo toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y soy consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

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

29 de setiembre de 2023



(Nombres y Apellidos completos según DNI)

JORGE ROMERO PUMAYALI

(DNI o Carné de Extranjería N°)

04822844

MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRIO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%	23%	2%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	manglar.uninorte.edu.co Fuente de Internet	2%
3	download1583.mediafire.com Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1%
6	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
8	1library.co Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	

		1 %
10	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1 %
13	vsip.info Fuente de Internet	1 %
14	repository.ugc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
15	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
16	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
17	transparencia.mtc.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	www.lanamme.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %

21	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
22	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
25	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
26	informatica.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	inba.info Fuente de Internet	<1 %

33	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.uniandes.edu.co Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
37	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	vdocumento.com Fuente de Internet	<1 %
39	www.ricuc.cl Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
41	www.univo.edu.sv:8081 Fuente de Internet	<1 %
42	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

DEDICATORIA

Trabajo de investigación dedicada a mis padres Gumercindo y Fortunata, quienes me inculcaron valores y brindaron amor, como ellos mismos en su sencillez, nobleza y grandeza, impulsándome en llegar hasta esta etapa de mi existencia y desarrollo de la tesis

Jorge Romero Pumayali

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a nuestra escuela de postgrado de la Universidad Ricardo Palma, por brindarnos los conocimientos necesarios y el afianzamiento de la misma, en la Ingeniería Vial.

A mi asesor de Tesis Dr. Carlos Magno Chávarry Vallejos, por guiarme con su conocimiento, paciencia y motivación, el cual fue fundamental para la culminación de la presente tesis.

Al Gerente de LEMIT SAC Sr. Denis Gutiérrez del Carpio, quien nos patrocinó y fomentó el desarrollo experimental de esta tesis.

Jorge Romero Pumayali

TITULO DEL PROYECTO

“MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.”

AUTOR

JORGE ROMERO PUMAYALI

RESUMEN

El reciclado de la carpeta de rodadura en la construcción y rehabilitación de las carreteras, es una constancia como trabajo de investigación y aplicación, por la reutilización y aprovechamiento de los materiales existentes, el cual justifica la mitigación de contaminación del medio ambiente, como también la explotación de canteras al emplearse nuevos agregados, ante ello se resalta la inquietud de nuestra investigación como una perspectiva de alcanzar un valor agregado al material fresado de la carpeta de rodadura existente, con la finalidad que la aplicación de la mezcla asfáltica reciclada 100.0% con la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en frío, alcanzando las exigencia de los parámetros de control del pavimento de bajo volumen de tránsito, del mismo que se propone optimizar los costos en relación a una mezcla asfáltica en caliente convencional.

PALABRAS CLAVE

Mezcla asfáltica reciclada, Costos, Emulsión Asfáltica, Cemento Portland, Transito, Pavimento.

ABSTRACT

The recycling of the rolling folder in the construction and rehabilitation of roads, is a record as research and application work, for the reuse and use of existing materials, which justifies the mitigation of environmental pollution, as well as the quarrying by using new aggregates, before this the concern of our research is highlighted as a perspective of achieving an added value to the milled material of the existing tread, with the purpose that the application of the 100.0% recycled asphalt mixture with the addition of asphalt emulsion and cold portland cement, meeting the requirements of the control parameters of low traffic volume pavement, which is proposed to optimize costs in relation to a conventional hot mix asphalt.

KEYWORDS

Recycled asphalt mix, Costs, Asphalt Emulsion, Portland Cement, Traffic, Pavement.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA -----	viii
AGRADECIMIENTO -----	ix
RESUMEN -----	x
ABSTRACT -----	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO -----	xii
ÍNDICE DE TABLAS -----	xv
ÍNDICE DE FIGURAS -----	xvi
INTRODUCCIÓN-----	xviii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO -----	1
1.1 Descripción de la realidad problemática -----	1
1.2 Formulación del problema -----	2
1.2.1 Problema general-----	2
1.2.2 Problemas específicos -----	2
1.3 Objetivos de la investigación -----	3
1.3.1 Objetivo general-----	3
1.3.2 Objetivos específicos -----	3
1.4 Delimitaciones de la investigación -----	3
1.4.1 Geográfica -----	3
1.4.2 Temporal -----	3
1.4.3 Temática-----	4
1.4.4 Muestral -----	4
1.5 Justificación e importancia de la investigación -----	4
1.5.1 Conveniencia -----	4
1.5.2 Relevancia Social -----	4
1.5.3 Aplicaciones prácticas-----	5

1.5.4 Utilidad metodológica.-----	5
1.5.5 Valor teórico-----	5
1.6 Importancia del estudio-----	5
1.6.1 Nuevos conocimientos-----	6
1.6.2 Aporte-----	6
1.7 Limitación del estudio.-----	6
1.8 Alcance-----	7
1.9 Viabilidad del estudio-----	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO-----	9
2.1 Marco histórico-----	9
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema-----	9
2.2.1 Investigaciones nacionales-----	9
2.2.2 Investigaciones internacionales-----	11
2.2.3 Artículos relacionados con el tema-----	12
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio-----	13
2.4. Definición de términos básicos-----	22
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis-----	24
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS-----	29
3.1 Hipótesis-----	29
3.1.1 Hipótesis general-----	29
3.1.2 Hipótesis específicas-----	29
3.2 Sistema de variables-----	29
3.2.1 Variable independiente-----	29
3.2.2 Variable dependiente-----	29
3.2.3 Definición conceptual-----	29
3.2.4 Definición operacional-----	30
3.2.5 Operacionalización de la variable-----	30
CAPITULO IV: METODOLOGÍA-----	31

4.1 Método de investigación -----	31
4.2 Tipo de investigación -----	31
4.3 Nivel de investigación -----	31
4.4 Diseño de la Investigación -----	32
4.5 Población y muestra -----	33
4.5.1 Población -----	33
4.5.2 Muestra -----	34
4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	34
4.6.1 Instrumentos de recolección de datos. -----	34
4.6.2 Métodos, herramientas y técnicas -----	35
4.7 Descripción y procedimiento de análisis -----	36
CAPITULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS -----	37
5.1 Evaluación superficial de la carpeta asfáltica -----	37
5.2 Diseño de mezcla asfáltica en frío – Método Illinois MS 14 -----	39
5.3 Resultados por la evaluación del daño por humedad– Ensayo Lottman -----	51
5.4 Evaluación por el costo de la mezcla asfáltica en frío reciclado y convencional -----	53
5.5 Contrastación de Hipótesis -----	57
5.5.1 Hipótesis específica 1 -----	57
5.5.2 Hipótesis específica 2 -----	58
5.5.3 Hipótesis específica 3 -----	59
CONCLUSIONES -----	60
RECOMENDACIONES -----	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	63
Anexo 01: Caracterización de la matriz de consistencia -----	66
Anexo 02: Resultados de ensayos físico mecánicos -----	67
Anexo 03: Análisis de precios unitarios -----	82
Anexo 04: Fichas técnicas -----	86
Anexo 05: Panel de fotos -----	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificación Emulsión Asfáltica Catiónica de rotura lenta con polímero	19
Tabla 2: Criterios para el diseño de mezcla de agregados - Emulsión Asfáltica.....	23
Tabla 3: Operacionalización de la variable Mezclas asfálticas recicladas en frio.....	30
Tabla 4: Población	34
Tabla 5: Evaluación superficial de pavimentos flexibles	37
Tabla 6: Cálculo del valor deducido	38
Tabla 7: Cálculo del valor deducido corregido.....	38
Tabla 8: Rango de Calificación del PCI	39
Tabla 9: Constantes del análisis granulométrico	41
Tabla 10: Porcentaje del contenido de agua de premezclado	42
Tabla 11: Cálculo para la elaboración especímenes y/o testigos de concreto asfáltico.....	44
Tabla 12: Características de mezclas asfálticas en frio – Asfalto residual 3.0%	45
Tabla 13: Características de mezclas asfálticas en frio – Asfalto residual 4.0%	46
Tabla 14: Características de mezclas asfálticas en frio – Asfalto residual 5.0%	47
Tabla 15: Características de mezclas asfálticas en frio – Asfalto residual 6.0%	48
Tabla 16: Características de mezclas asfálticas en frio – Método Illinois.....	49
Tabla 17: Pérdida de estabilidad y humedad absorbida – Método Illinois.....	49
Tabla 18: Resultados del ensayo de la susceptibilidad a la humedad – Método Lottman.....	52
Tabla 19: Presupuesto de mezcla asfáltica reciclada en frio (MARE)	54
Tabla 20: Presupuesto de mezcla asfáltica en caliente (MAC)	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases de un pavimento con mantenimiento y actividad de conservación.....	26
Figura 2: Mapa conceptual del diseño de mezcla asfáltica reciclada	27
Figura 3: Tipología de la metodología	33
Figura 4: Contenido del agua en compactación 5.0%.	43
Figura 5: Contenido del agua para la compactación 5.0%.	43
Figura 6: Característica según el óptimo contenido de asfalto residual – Método Illinois	50
Figura 7: Partidas de mayor incidencia del presupuesto Mezcla asfáltica en frío.....	54
Figura 8: Partidas de mayor incidencia del presupuesto Mezcla asfáltica en caliente	56
Figura 9: Comparación de Costos MARE/MAC.....	57
Figura 10: Fisura Tipo Piel de Cocodrilo	90
Figura 11: Maquina fresadora WIRTGEN	90
Figura 12: Muestreo del material fresado en acopio	91
Figura 13: Muestra del material de carpeta fresada.....	91
Figura 14: Análisis Granulométrico de la muestra carpeta fresada.....	92
Figura 15: Extracción cuantitativa de asfalto de la muestra fresada	92
Figura 16: Mezcla asfáltica en frío con emulsión, material fresado y filler.....	93
Figura 17: Rotulación de testigos de concreto asfáltico – Método Illinois	93
Figura 18: Contenido de agua de pre mezcla 3.0% / muestra de mezcla en frío.....	94
Figura 19: Contenido de agua de pre mezcla 6.0% / muestra de mezcla en frío.....	94
Figura 20: Preparación de los testigos de concreto asfáltico – Método Illinois.....	95
Figura 21: Testigos de concreto asfáltico– Método Illinois	95
Figura 22: Extracción de vacíos de aire - Ensayo Rice	96
Figura 23: Curado en baño maría @ $25^{\circ} \pm 1.0^{\circ} \text{C}$ testigos asfálticos	96
Figura 24: Testigos asfálticos seleccionados - Ensayo Lottman	97
Figura 25: Congelamiento 16h. @ $-18^{\circ} \pm 3.0^{\circ} \text{C}$	97

Figura 26: Equipo de refrigeración a temperaturas $-18^{\circ} \pm 3.0$ °C.....	98
Figura 27: Acondicionamiento del testigo asfáltico – Ensayo Lottman.....	98
Figura 28: Rotura de los testigos asfáltico - Ensayo Lottman.....	99
Figura 29: Testigos asfáltico fallado - Ensayo Lottman.....	99

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas recicladas en frío son una opción efectiva para optimizar los costos en pavimentos de bajo volumen de tráfico. Estas mezclas se utilizan para rehabilitar y mantener carreteras mediante el reciclaje de materiales existentes en el pavimento deteriorado, lo que reduce la necesidad de utilizar nuevos materiales y disminuye los costos de construcción, minimizando también la generación de residuos.

Por la formulación el diseño de mezcla en mención, se efectuará mediante la metodología Marshall, Metodología Illinois y Metodología del Instituto del Asfalto, para luego evaluarlo mediante ensayos de resistencia, volumétricos y demás en alcance de nuestras limitaciones. dada la particular característica que le confiere el RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) y las condiciones propias del reciclado en frío tanto in-situ como en planta, al margen del diseño de pavimento integral para un bajo volumen de tránsito liviano.

El material de mezcla asfáltica reciclada empleado al 100% se obtiene a partir del fresado o demolición de la capa superficial del pavimento existente. Este material reciclado se procesa y mezcla con una emulsión asfáltica, que es una dispersión de asfalto en agua con agentes emulsionantes. La emulsión asfáltica actúa como un aglutinante, permitiendo que los materiales reciclados se adhieran y formen una nueva capa de pavimento.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de mezclas asfálticas recicladas con emulsión asfáltica y filler demanda un adecuado diseño y control de calidad mediante ensayos físico mecánico, para garantizar su desempeño y durabilidad a largo de su vida útil.

Es importante tener en cuenta que el uso de mezclas asfálticas recicladas en frío puede requerir un análisis previo de la estructura del pavimento existente y una evaluación técnica para determinar la viabilidad y los ajustes necesarios en el diseño.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Descripción de la realidad problemática

La realidad problemática es el costo, por el cual se genera la reutilización de la carpeta asfáltica fresada al ver cumplido su vida útil o haber sufrido un deterioro prematuro superficial, proponiendo una nueva mezcla para pavimentos de bajo volumen de tránsito. Por los residuos que genera un pavimento asfáltico, se alcanza problemas ambientales que enfrentan las ciudades del cual se hace obligación de plantear soluciones más convenientes desde los puntos de vista social, económico y ambiental, del mismo que se justifica esta investigación ante la imperiosa necesidad de mayores redes viales en el crecimiento, por lo que se hace sostenible reciclar alcanzándose como una alternativa sostenible viable.

En nuestro país se presenta mayormente carreteras a nivel de carpeta asfáltica deterioradas prematuramente, por el incremento del parque automotor y las cargas, el mismo que genera deformaciones, por fatiga del pavimento permanente; es por ello que el diseño de pavimento debe cumplir una serie de requerimientos de las normas y parámetros establecidos, la misma que traen consigo criterios internacionales, con la finalidad de evitar el deterioro prematuro de las carreteras. Ante ello la presente investigación propone alcanzar la reutilización del uso de materiales, empleándose rejuvenecedores y mediante un diseño de mezcla asfálticas recicladas, como soluciones prácticas y económicas, en pavimentos de bajo tránsito.

Los autores Carhuaricra y Vela (2022) alcanzan una guía con la finalidad de mejorar la deficiente gestión logística en proyectos de mejoramiento y mantenimiento vial, con una programación de actividades anuales, las misma que involucran actividades rutinarias, mantenimiento periódico, mejoramiento y emergencias, el cual pueden generar ahorros significativos en el sector de la construcción, mediante las actividades programadas según el estado de vía, teniéndose abierta la propuesta para nuestro trabajo de investigación.

El material del reciclado de mezclas asfálticas el cual son removido de la carpeta de rodadura y reprocesados nuevamente, se presenta en nuestra investigación como un gran potencial de material a emplearse en el pavimento integral, el mismo que establece el tipo de mezcla asfáltica, por lo que los autores Durán y Gil (2021) manifiestan “La mezcla compuesta por 100% RAP, emulsión asfáltica y cal es viable técnicamente para uso en vías terciarias” (pág. 9).

1.2 Formulación del problema

Esta investigación consiste en proponer una mezcla asfáltica reciclada en frío, con material excedente del fresado de una carpeta de rodadura al 100%, empleándose como agente reciclador, la emulsión asfáltica catiónica con polímero y cemento portland tipo I, para emplearse en la conformación de carpeta asfáltica, como a su vez alcanzar justificación de mitigar el impacto del medio ambiente, en una propuesta de la optimización de costos para un pavimento de bajo volumen de tránsito, en contraste a una mezcla convencional en caliente.

1.2.1 Problema general

¿De qué manera una mezcla asfáltica reciclada en frío, reduce los costos en el pavimento de bajo volumen de tránsito?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿De qué forma los parámetros de control influye, en la mezcla asfáltica reciclada para alcanzar un costo sostenible?
- b. ¿Cómo afecta la incorporación del agente reciclador, en los pavimentos de bajo volumen de tránsito?
- c. ¿Cómo interviene la evaluación de los materiales e insumos empleados, en la mezcla asfáltica reciclada formulada?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar mezclas asfálticas recicladas en frío, para reducir los costos en pavimentos de bajo volumen de tránsito, según la metodología de ensayos y/o procedimiento AASHTO y ASTM.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Evaluar mediante los parámetros de control la mezcla formulada, para obtener una mezcla asfáltica reciclada de costo sostenible.
- b. Incorporar la metodología de reciclaje en pavimento de bajo volumen de tránsito, para un nuevo tipo de asfaltado que obtenga flexibilidad, durabilidad y menor costo.
- c. Evaluar los costos de los materiales e insumos empleados en la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, para alcanzar una formulación de mezcla asfáltica reciclada sostenible y emplearse de pavimentos de bajo volumen de tránsito.

1.4 Delimitaciones de la investigación

1.4.1 Geográfica

La investigación comprende una propuesta técnica de la formulación de diseño de mezclas asfálticas reciclada en frío, para una carpeta de rodadura asfáltica del pavimento flexible reciclado, en las instalaciones del laboratorio de mezclas asfálticas LEMIT SAC, coordenadas geográficas: 11°59'14"S 76°52'27"W

1.4.2 Temporal

Por la investigación se considera información de los proyectos ejecutados, la misma que será un referente al desarrollo del presente estudio, el cual se tiene mayormente de las obras de rehabilitación vial, como a su vez se tomaron los datos en campo, alcanzando un aporte más

favorable al desarrollo de nuestra investigación, durante un periodo permanente entre los meses de febrero hasta el mes de junio del año 2023.

1.4.3 Temática

El tema de estudio es el uso de mezclas asfálticas recicladas para pavimento de bajo volumen de tránsito.

1.4.4 Muestral

La investigación está limitada al muestreo directo en una obra en ejecución o donde se realicen una rehabilitación vial y vías urbanas, empleándose material fresado y/o reciclado al 100% de la mezcla asfáltica reciclado.

1.5 Justificación e importancia de la investigación

1.5.1 Conveniencia

La información recopilada y procesada, servirá de sustento para esta investigación y otras investigaciones similares, aportando el marco teórico y/o cuerpo de conocimientos que existe sobre el tema del uso del pavimento flexible reciclado enfocado al mantenimiento o rehabilitación de vías, otro designio es alcanzar de reducir el tiempo de la construcción o conformación de la carpeta de rodadura, en el menor tiempo posible, con los rejuvenecedores propuestos en esta investigación.

1.5.2 Relevancia Social

El presente estudio contribuye al cuidado del medio ambiente promoviendo el reciclaje en los proyectos de construcción civil e importante en la mitigación de contaminación del medio ambiente delimitando como es también el uso de materiales de las canteras y la emisión del CO₂ por la producción y conformación de la carpeta de rodadura.

1.5.3 Aplicaciones prácticas

La investigación propuesta en esta investigación es la formulación, producción y aplicación de una mezcla asfáltica reciclada en frío, proponiendo estrategias prácticas con respecto a una mezcla asfáltica en caliente, contribuyendo la optimización de costos, el cual resolverá su obtención y aplicación de la mezcla asfáltica reciclada en frío.

1.5.4 Utilidad metodológica.

El presente tema de investigación pertenece a una investigación mixta (cuantitativa y cualitativa), con nivel relacional, el mismo que permite determinar la formulación de la mezcla reciclada, estableciendo las proporciones adecuadas y optimas, alcanzando un correcto análisis de resultados, el cual sustenta los objetivos del mismo que se alcanzara las conclusiones y recomendaciones a partir de dichos resultados.

1.5.5 Valor teórico

El estudio podrá ser utilizado como guía sobre el uso de mezclas asfálticas recicladas en frío, para pavimentos de bajo volumen de tránsito, considerándose como herramientas para futuras investigaciones de mayor orden.

1.6 Importancia del estudio

La importancia por el estudio, es la reutilización de la carpeta de rodadura en la construcción de pavimentos de bajo tránsito, por las mismas razones que promueve el reciclado de la carpeta de asfáltica en el ámbito vial, como también la limitación creciente en el uso de materiales vírgenes y por ende la contaminación del medio ambiente, generando costos menores con la optimización de recursos y viabilidad técnica. El cual conlleva a formar el desarrollo sostenible.

1.6.1 Nuevos conocimientos

Evaluación de la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, mediante los ensayos por los ensayos de desempeño establecidos en la investigación.

1.6.2 Aporte

Se alcanza del estudio como aporte. la carpeta de rodadura conformada por una mezcla asfáltica reciclada en frío, el cual ofrecerá confort y protección del pavimento; como la inclusión del ensayo por desempeño, como es resistencia al daño por humedad en mezclas asfálticas, con las variables independientes de control de temperatura y tiempo de saturación, para una mezcla asfáltica reciclada en frío.

1.7 Limitación del estudio.

Por la limitación de la presente investigación se menciona.

- a. La evaluación integral del diseño de la mezcla asfáltica reciclada, mediante ensayos especiales de vanguardia, por el cual no se tiene la disponibilidad de los equipos de laboratorio, para evaluar las características que presenta la mezcla en mención como la prueba de Hamburgo, resistencia a la fatiga bajo carga repetitiva y módulo resiliente, del mismo se menciona los costos de los ensayos a efectuarse son gravosos y los parámetros a considerarse la para ejecución de los ensayos citados.
- b. Todo uso de rejuvenecedores para la carpeta asfáltica fresada se excluirá, más solo se considera los agentes como son la emulsión asfáltica y cemento portland.
- c. La conformación de la carpeta asfáltica con la mezcla reciclada en frío formulada, en el tramo de prueba, tendrá su limitación por la disponibilidad de los equipos de la Pavimentadora, Planta asfáltica mezcladora, rodillos y personal, dependiendo de la gestión del investigador.

1.8 Alcance

La investigación desarrollará un diseño de la mezcla asfáltica reciclada en frío para un pavimento de bajo volumen de tránsito, con la incorporación de emulsión asfáltica de rotura lenta con polímeros, utilizando el cemento tipo I, los resultados serán ensayos volumétricos, resistencia de estabilidad y fluidez Marshall, como también la medida del cambio de la resistencia a la tensión diametral que resulta de los efectos de la saturación del agua y acondicionamiento en agua acelerado según la metodología AASHTO T 183.

1.9 Viabilidad del estudio

a. El tiempo

El presente trabajo de investigación se efectúa durante un periodo de 02 años, comprendido entre el 2,022 y 2,023.

b. Espacio, Lugar

Los ensayos de los materiales a emplearse (emulsión asfáltica y cemento portland) se efectuarán en laboratorios externos, del mismo que se alcanzara la ficha técnica, la formulación del diseño de mezcla asfáltica reciclada en el laboratorio LEMIT SAC.

c. Condiciones económicas

En un aprovechamiento hipotético del fresado de la carpeta asfáltica, esta investigación busca determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental por el uso de la carpeta asfáltica mencionada, atenuando el proceso de producción de una mezcla en caliente para las obras de rehabilitación en vías o un pavimento de bajo volumen de tránsito, para luego efectuar un análisis comparativo de costos en referencia del pavimento convencional.

d. Notas de información

Por la Nota se considera recopilación de datos, por trabajo de investigación realizado en referencia específica de mezclas asfálticas recicladas, en el ámbito nacional e

internacional, como también información de Nota primaria por ser un trabajo experimental.

e. Recolección de datos

Esta investigación utilizará la técnica de la observación, del cual se adjuntará panel fotográfico y además de ensayos específico, relacionado específicamente al tema de investigación efectuado, que alcanzan la sustentación de las variables del diseño pavimento de bajo volumen de tránsito y del diseño de mezcla asfáltica reciclada en frío formulado, a nivel experimental con un enfoque cuantitativo.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

Para una carpeta de rodadura del pavimento la vida útil, está sujeta a la acción permanente del tráfico, la radiación y el derrame de los residuos líquidos de vehículos, éstos 03 factores sumándose el envejecimiento propio de los materiales empleados específicamente en la carpeta de rodadura, hace que se deteriore permanentemente y/o prematuramente, salvo una programación propicia de mantenimiento, deterioro que conlleva a la depreciación creciente de los niveles de seguridad y confort del tráfico de la carpeta de rodadura.

Por lo mismo que su evaluación demanda una rehabilitación y/o restauración como alternativa mayormente, efectuándose el fresado y reposición de la carpeta de la carpeta de rodadura, haciéndose que el material de fresado se considere un material excedente y por ello su reutilización del conglomerado asfáltico, se hace tema nuestro como investigación para emplearse en pavimento de volumen de tránsito liviano, optimizando costos, por lo que generalmente se requiere sólo de 1.0% a 3.0% de asfalto residual de la emulsión asfáltica como adicional, mientras que un nueva carpeta asfáltica puede necesitar entre 5.0% a 6.0%., adicionalmente se justifica la reutilización como parte integral de la mitigación de contaminación ambiental

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones nacionales

En esta investigación los autores Balbin y Chonchoy (2019), establece en la tesis de pre grado denominada “Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado, para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima 2019”, el empleo de pavimentos deteriorados reciclados, como una opción económica interesante para

generar nuevos pavimentos, con el fin de mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo en mención.

En la investigación sobre las mezclas asfáltica recicladas, Flores y Saldaña (2020) evalúa la “Influencia que tiene el RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), con el comportamiento mecánico referido a la resistencia estructural que aporta la base reciclada, en la estructura de un pavimento, para las muestras extraídas de calicatas de los Tramos III y IV del proyecto de la carretera Binacional Mazocruz – Puente Internacional (Perú – Bolivia)”.

Mediante la investigación, realizada por Jara y Pèrez (2020) efectúa una evaluación de los materiales del pavimento deteriorados y formulación del diseño de mezcla asfáltica reciclada en frío, para ser empleados en vías provisionales de los asentamientos humanos de la ciudad de Lima, en beneficio social, económico y ambiental, como también para las zonas vulnerables de nuestro país, considerándose el método de reciclaje en frío, por la facilidad de su aplicación y control, del mismo que se pretende alcanzar como alternativa técnica en las obras de rehabilitación vial para pavimentos de bajo tránsito.

La investigación efectuada por Paccori (2018) alcanza como objetivo, determinar la mejora del uso del pavimento flexible reciclado en la rehabilitación vial de la av. Víctor Malásquez, del cual se puede corregir las deficiencias superficiales severas de un pavimento deteriorado, del mismo que genera beneficios económicos y ambientales en el momento de la ejecución del Proyecto.

Por alcanzar una propuesta de solución técnica para la rehabilitación del pavimento existente deteriorado, Tapia (2020) propone demostrar si el “Diseño de mezclas en frío con pavimento reciclado, mejoraría el mantenimiento vial de la avenida cadenas, Lurigancho, Cajamarquilla, Lima 2020”, mediante ensayos volumétricos, al margen de una evaluación de costo por los materiales a emplearse.

2.2.2 Investigaciones internacionales

Las mezclas recicladas en frío, nos permiten alcanzar la optimización de los recursos disponibles y reducir los requerimientos energéticos, por lo mismo que Castro (2018) presenta una metodología experimental. en el cual se evalúa las propiedades dinámicas, mecánicas y los beneficios ambientales, por el uso de las mezclas con emulsión asfáltica y cemento portland, incluyéndose los residuos sólidos como escoria de acero y caucho reciclado, demostrando así las propiedades aglutinantes y la densificación, por el incremento de la resistencia. Evaluándose mediante ensayos de mayor predicción como es el módulo de rigidez, la resistencia a la deformación permanente y resistencia a la tracción indirecta en condición seca y húmeda, por lo mismo que contribuye los parámetros de estimación en el impacto ambiental examinados, durante los procesos de construcción y mantenimiento con respecto a la disyuntiva de la mezcla asfáltica convencional.

Mediante el trabajo de investigación Mora (2020) establece el “Aprovechamiento de reciclado RAP, para el mejoramiento de las vías terciarias en Colombia”, con la finalidad de reciclar material fresado de las vías, basados en los estudios de investigación con énfasis en pavimentos de bajo volumen de tránsito o terciarias, mejorando el material en forma integral con el empleo de rejuvenecedores, logrando extender la vida útil del pavimento, como a su vez generar el ahorro de energía y evitar el empleo de canteras nuevas por los materiales a emplearse, como también reducir el tiempo de construcción de la carpeta de rodadura, como la rehabilitación con materiales aceptables en acorde a las exigencias de los parámetros de control..

Por efecto del tiempo de curado y dosificación de una emulsión asfáltica, en la formulación de la mezcla asfáltica reciclada RAP en frío, Escobar (2018) evalúa el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en frío con 100% RAP en función de la dosificación y el tiempo de curado de una emulsión asfáltica, mediante diversas dosificaciones de emulsión asfáltica tentativas tipo CRL-1, empleándose una metodología experimental, con la finalidad de alcanzar el efecto de la dosificación y tiempo de curado para efectuar la compactación.

Las nuevas tendencias a emplearse mezclas asfálticas recicladas, la formulan Jaramillo y Places (2022) teniéndose como objetivo “Modificar una emulsión asfáltica catiónica empleándose el aceite de motor desechado de vehículos como uno de sus componentes, para la fabricación de mezclas asfálticas en frío”, alcanzando la compatibilidad de la mezcla reciclada y la emulsión formulada con el agente rejuvenecedor de aceite considerado, mediante ensayos específicos de recubrimiento y adherencias, los mismos que fueron validados mediante los ensayos por desempeño.

En referencia a la contaminación, Ahumada (2021) menciona “La reutilización del fresado en la producción de mezclas frías, no solo evita la contaminación del suelo por depósito de estos materiales, sino que reduce la explotación de agregados vírgenes y las emisiones de gases efecto invernadero causadas por la fabricación de mezclas asfálticas en caliente” (pág. 16).

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Los autores Ferro et al. (2020) por la investigación efectuada, consideran en la formulación de la mezcla asfáltica reciclada en frío, como variable, el tiempo de curado de la mezcla, para alcanzar un rendimiento mecánico en la formulación el diseño. Por lo mismo que las pruebas de curado del laboratorio en relación al curado en campo no contrasta a largo plazo, por lo que con llevo en la investigación a una sección de prueba a mayor escala monitoreada en más de dos años, efectuándose ensayos de resistencia a la tracción indirecta (ITS), módulo de rigidez a la tracción indirecta (ITSM), y módulo complejo, para así alcanzar proporcionan un comportamiento del curado en campo.

Según los autores Orosa et al (2021) mencionan lo siguiente “En el contexto del diseño de mezclas asfálticas, es una práctica común fabricar probetas de laboratorio y probarlas para predecir el comportamiento de los pavimentos asfálticos antes de su implementación real en el campo.” (pág. 2).

Otros autores como Arámbula et al (2020) afirman lo siguiente.

Los beneficios de utilizar pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la Construcción incluyen la economía, la conservación de los recursos naturales (áridos, aglutinante y combustible), reducciones en el consumo de energía, y reducciones en las emisiones (incluidos los gases de efecto invernadero).

Además, los autores Raab y Partl (2020) manifiestan lo siguiente

Por razones medioambientales, el reciclaje del pavimento asfáltico recuperado (RAP) se ha vuelto obligatorio en muchos países y regiones del mundo. Como consecuencia, la acumulación de RAP puede dar lugar a enormes pilas de RAP que crean un problema para las autoridades locales en términos de depósitos limitados. Esto es particularmente cierto en regiones con infraestructuras de alto nivel, población densa y redes de carreteras regionales muy transitadas, donde la rehabilitación domina con mucho la nueva construcción.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

Pavimento asfáltico reciclado (RAP)

El RAP utilizado en esta investigación proviene del proceso de fresado del pavimento de la carretera central comprendida entre el tramo Santa Clara – Puente Ricardo Palma (MTC 2018), el cual pertenece al distrito de Chosica de la ciudad de Lima, por las obras de servicio realizadas en esta vía del año 2018, siendo removido un espesor de aproximadamente 10.0 cm, de la carpeta de rodadura original, el mismo que fue considerada como material excedente, luego del proceso efectuado, en acorde a los términos del proyecto, el cual se compone de una mezcla densa, con tamaño máximo de agregado pétreo 19.0 mm. (3/4”) y cemento asfáltico penetración 60/70. Los trabajos más recientes de rehabilitación sobre el pavimento se realizaron aproximadamente en el año 2005, por lo tanto, el asfalto se considera haber cumplido su vida útil.

Ensayos de control realizados para RAP

Mediante se presenta los ensayos de control básico, en acorde a las normas del MTC y ASTM,

a. Ensayo de extracción cuantitativa de asfalto, según norma MTC E 502

La extracción cuantitativa de asfalto es un proceso utilizado para determinar la cantidad de asfalto presente en una muestra sólida, como mezclas asfálticas o materiales bituminosos. Este ensayo es fundamental en la caracterización y control de calidad de materiales utilizados en la construcción de carreteras y pavimentos, ya que permite evaluar la calidad y propiedades del asfalto utilizado en la mezcla asfáltica, lo que a su vez afecta directamente la durabilidad y resistencia de la superficie pavimentada.

Se presenta un esquema básico para llevar a cabo el ensayo de extracción cuantitativa de asfalto:

Preparación de la muestra:

Se toma una muestra representativa del material bituminoso a analizar. Esta muestra debe ser lo suficientemente grande como para obtener resultados precisos y representativos. Se debe tener cuidado de evitar la contaminación de la muestra durante el proceso de recolección y manipulación.

Secado de la muestra:

La muestra se somete a un proceso de secado para eliminar cualquier humedad presente. Esto se puede lograr utilizando un horno a una temperatura controlada. Se recomienda seguir los procedimientos y estándares establecidos por las normas técnicas pertinentes.

Extracción del asfalto:

Se emplea un disolvente adecuado, como el tricloroetileno o el diclorometano, para extraer el asfalto de la muestra. Se coloca la muestra en un recipiente adecuado y se agrega el disolvente, asegurándose de cubrir completamente la muestra. Luego, se agita

vigorosamente durante un período de tiempo determinado para permitir que el disolvente disuelva el asfalto presente.

Filtración: Después de la agitación, se procede a filtrar la mezcla disolvente-muestra para separar el asfalto disuelto del resto de los componentes. Se utiliza un embudo Büchner o un sistema de filtración similar, junto con un papel de filtro adecuado para capturar el asfalto.

Evaporación del disolvente: El filtrado obtenido se coloca en una placa de evaporación y se somete a un proceso de evaporación controlada. Esto permite que el disolvente se evapore y deja únicamente el asfalto residual.

Pesaje del asfalto: Una vez que el disolvente se ha evaporado por completo, se pesa el residuo de asfalto que queda en la placa de evaporación. Este peso se registra con precisión. Utilizando los datos de peso obtenidos, se realizan cálculos para determinar el porcentaje de asfalto presente en la muestra original. Esto se logra dividiendo el peso del asfalto extraído entre el peso inicial de la muestra y multiplicando por 100.

b. Ensayo de análisis granulometría del agregado RAP, según norma MTC E 503

La investigación lo considera como material de reciclado en mayor volumen, el cual está compuesto por partículas de tamaño entre 19 mm hasta tamaños inferiores a 0,075 mm, con una poca cantidad de finos <3%, por lo que el filler como agregado llenante, se considera como el “mastic” la pasta de asfalto y finos. El análisis de estas partículas se realiza por medio del tamizado en húmedo.

Según Mora, (2020) conceptualiza “Pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) es el término que se le da a los materiales del pavimento removidos y/o reprocesados que contienen asfalto y agregados. Estos materiales se generan cuando los pavimentos asfálticos son removidos para reconstrucción o rehabilitación.” (pág. 47).

Emulsión asfáltica como agente reciclador

En la investigación se considera como agente reciclador a la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta Tipo CSS-1hp, con la finalidad de la estabilizar la mezcla con los materiales reciclados en frío, por el tipo de emulsión que alcanza el tiempo adecuado para mezclar, sin que se haya ruptura prematura, alcanzándose un producto relativamente trabajable, cumpliéndose el objetivo principal de fluidificar el asfalto residual, como también disminuyendo su viscosidad para lograr la trabajabilidad de la mezcla a bajas temperaturas.

Ensayos de laboratorio para emulsión asfáltica

a. Viscosidad

Los aparatos, procedimiento y finalidad del ensayo de viscosidad de los asfaltos emulsificados o emulsiones asfálticas son esencialmente los mismos descritos para los asfaltos fluidificados. Los aparatos y procedimiento se describen en los métodos de la norma de ensayos AASHTO T 59 y/o ASTM D 244.

b. Residuo por destilación

En las emulsiones asfálticas se emplea el ensayo de destilación para determinar las proporciones de asfalto y agua y obtener asfalto puro para su ensayo. El procedimiento de ensayo es esencialmente el mismo descrito para los asfaltos fluidificados, salvo que se emplean una retorta de hierro y quemadores anulare en lugar de matraz de vidrio y mechero Bunsen. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo se describen en los métodos de la norma de ensayo AASHTO T 59 y/o ASTM D 244.

c. Sedimentación

Este ensayo de sedimentación establece la tendencia de la sedimentación de los glóbulos de asfalto por el tiempo del almacenaje de la emulsión asfáltica, el ensayo se mantiene en reposo durante cinco días, en una probeta cilíndrica de vidrio graduado, después de lo cual se determina la diferencia en contenido de asfalto entre el fondo y

la superficie de la muestra. El procedimiento y material necesario se describen en la metodología de la norma de ensayos AASHTO T 59 y/o ASTM D 244.

d. Ensayo de tamizado

El presente ensayo complementa la sedimentación y tiene como propósito determinar cuantitativamente el porcentaje de asfalto residual, presente en forma de esferitas relativamente grandes, estas esferitas no son aquellos revestimientos delgados y uniformes de asfalto sobre las partículas de áridos y pueden ser, o no ser, identificados por el ensayo de sedimentación, que solamente tiene valor en este aspecto cuando hay suficiente diferencia entre el peso específico del asfalto y el del agua para permitir que se produzca la sedimentación.

En el ensayo de tamizado se hace pasar una muestra representativa de la emulsión asfáltica a través de un tamiz número 20. el tamiz y el asfalto retenido se lavan a continuación con una solución diluida de oleato sódico y, finalmente, con agua destilada. Después del lavado, el tamiz y el asfalto se secan en estufa y se determina la cantidad de asfalto retenido. El procedimiento y aparatos necesarios para la realización de este ensayo se describen en la metodología de la norma de ensayos AASHTO T 59 y ASTM D 244.

e. Mezclado con cemento

El ensayo de mezclado con cemento desempeña en las emulsiones asfálticas de rotura lenta (SS) un papel análogo al del ensayo de demulsibilidad en los tipos de rotura rápida o media. Los tipos SS se destinan al empleo con materiales finos y áridos con polvo, y normalmente no son afectados por las soluciones de cloruro cálcico empleadas en el ensayo de demulsibilidad. En el ensayo de mezclado con cemento se mezcla una muestra de emulsión asfáltica con cemento portland de gran finura de molido, y la mezcla se hace pasar con la ayuda del agua, a través de un tamiz número 14. Las especificaciones limitan usualmente la cantidad de material que puede

admitirse quede retenida en el tamiz. Los materiales y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en los métodos de la norma de ensayos AASHTO T 29 y/o ASTM D 244.

f. Ensayos sobre el residuo

Usualmente se realizan ensayos sobre el residuo de la destilación del material líquido, como son los ensayos de penetración, solubilidad y ductilidad correspondientes, a los betunes asfálticos.

g. Peso específico

El presente ensayo para la emulsión tiene el propósito de efectuar el peso específico de la emulsión a emplearse en la formulación, los mismos que son descritos para en la norma para los asfaltos fluidificados, como es determinar las características propias del material, en referencia a la relación de peso y volumen, considerándose como una de las características más importante en la ingeniería de pavimentos y en la construcción de carreteras, el cual se requiere para determinar la cantidad de material necesario en la mezcla asfáltica, como para determinar el óptimo contenido de emulsión asfáltica reciclada.

Estos resultados del peso específico varían en función a diferentes factores, como la composición de la emulsión asfáltica propia, la temperatura del material y la presencia de aire atrapado.

Este valor del peso específico del asfalto puede influir en las características de la mezcla asfáltica reciclada, como es la capacidad de soportar cargas, durabilidad y resistencia al desgaste.

h. Especificaciones para emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica catiónica, a emplearse será del tipo de rotura lenta (CSS-1hp), con la exigencia de la tabla 1, el mismo que es similar, a la emulsión asfáltica de rotura lenta tipo CSS 1hp, empleada en nuestra investigación.

Tabla 1*Especificación Emulsión Asfáltica Catiónica de rotura lenta con polímero*

Descripción de ensayos	Norma	CSS-1p	
		Min.	Max.
Viscosidad Saybolt Furol a 77 °F (25 °C). s	MTC E 403	20	100
Estabilidad de Almacenamiento, 24-h, %*	MTC E 404		1
Carga de partícula	MTC E 407		Positivo
Sedimentación (a los 7 días), %	MTC E 404		5.0
Prueba de Tamiz. %	MTC E 405		0.1
Mezcla por Cemento, %	MTC E 410		2.0
Revestimiento Resistencia al agua:			
- Revestimiento agregado seco			Bueno
- Revestimiento agregado seco después del mezclado	MTC E 409		Acceptable
- Revestimiento agregado húmedo			Acceptable
- Revestimiento agregado húmedo después del mezclado			Acceptable
Destilación:			
- Residuo, %	MTC E 411	57	
Pruebas sobre el Residuo de destilación:			
- Penetración, 77 °F (25 °C), 100 g, 5 s	MTC E 304	50	90 (*)
- Punto de ablandamiento (Ay B), °C	MTC E 307	45	
- Ductilidad, 77 °F (25 °C), 5 cm/min, cm	MTC E 306	≥ 10	
- Recuperación elástica, 25 °C, %	ASTM D 6064	≥ 30	
- Recuperación elástica, 25 °C (por torsión)	MTC E 320	≥ 20	

Nota: Manual de carreteras- Especificaciones Técnicas Generales EG 2013 – Tabla 415-04^a

(*) En función a las condiciones climáticas del proyecto

Cemento portland como agente reciclador

Proviene de la trituración de los materiales de clínker y yeso, con un contenido de álcalis proporcional, como producto está sujeta de los controles de la calidad, según norma de ensayos ASTM C-150. Este producto es considerado como filler o Cemento Portland tipo I, el cual, combinado con los materiales empleados en nuestra investigación, con el propósito de consolidar firmemente la mezcla asfáltica reciclada en frío, alcanzando una capa firme estabilizada, con una resistente al cambio de humedad y a la degradación, una vez alcanzada la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, por el buen desarrollo de trabajabilidad y performance como agente reciclador.

Mezcla asfáltica reciclada:

La preparación de la mezcla asfáltica reciclada en frío, demanda una adecuada gradación granulométrica del material fresado, realizándose una buena clasificación granulométrica y/o zarandeo, con el propósito de obtener una homogenización de los agregados a emplearse al 100%. Considerando que el denominado es fundamental, para el diseño y/ formulación de mezcla, por lo mismo que son sometidos a ensayos normados por organizaciones internacionales, ya sea con la norma American Society for Testing and Materials (ASTM International) o con la Norma American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO), como son consideradas en nuestro Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales de la Construcción EG-2013. Por ello es necesario realizar pruebas de laboratorio con el fin de determinar si el material empleado del RAP cumple las exigencias de calidad en la mezcla asfáltica reciclada. El proceso de fabricación de mezclas con materiales recicladas de asfalto es variado, ya sea en planta o in-situ. La preparación de mezclas de laboratorio implica que se desarrolle en acorde a la exigencia de la norma y metodología, para el mezclado, compactación y curado de las briquetas fabricadas.

Caracterizaciones volumétricas Gmm, Gsb y Gsa.

Por los ensayos volumétricos se indica los conceptos básicos.

- a. Gravedad específica máxima teórica a 25 °C: La gravedad específica máxima teórica (Gmm) es la máxima densidad relativa que puede tener la mezcla cuando todos los vacíos se encuentren llenos. El ensayo se realiza según la norma de ensayo ASTM D 2041, utilizando el equipo Rice.
- b. Gravedad específica bruto; El ensayo de gravedad específica bruto, se realiza bajo la norma ASTM C 127, con especímenes saturados y superficialmente secos pesados al aire.

c. Gravedad específica aparente: El ensayo de gravedad específica aparente se realiza con los especímenes secos pesados al aire y sus dimensiones, por eso es conocida como “gravedad específica geométrica”.

d. Contenido de Vacíos llenos de aire:

La relación de vacíos llenos de aire es la cantidad de aire que existe dentro de la briqueta y se calcula con la gravedad específica bruto G_{mb} , con relación a la gravedad específica máxima teórica G_{mm} . Este valor, tiene influencia en el rendimiento de las mezclas y para una mezcla en frío reciclada pueden variar entre 10 y 15%.

Ensayo por desempeño:

Ensayo de la Susceptibilidad al daño por humedad AASHTO T 283

Es un procedimiento utilizado para evaluar la capacidad de una mezcla asfáltica para resistir el daño causado por la humedad. Este ensayo proporciona información importante sobre la durabilidad y el desempeño de la mezcla asfáltica en condiciones de humedad.

El objetivo principal del ensayo es determinar si la mezcla asfáltica es susceptible a la descomposición y pérdida de fuerza debido a la presencia de agua. Esto es crucial, ya que la humedad puede debilitar la adherencia entre los agregados y el asfalto, provocando la desintegración prematura de la capa asfáltica.

El ensayo de la susceptibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica, se efectúa según la norma de ensayo AASHTO T 283, del mismo que Baldi (2022) manifiesta “El daño por humedad, se define como el deterioro de la mezcla asfáltica causado por la presencia del agua, que ocasiona la pérdida de adhesión entre el asfalto y el agregado, así como el debilitamiento de la cohesión del mástic asfáltico” (pág. 2).

2.4. Definición de términos básicos

Curva granulométrica

La representación gráfica se denota mediante un análisis granulométrico, la misma que se presenta con la repartición del agregado por cada tamaño, con el fin de conseguir un esquema de mezcla.

ASOCEM (2013) establece lo siguiente:

Representación gráfica de la granulometría que proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y, en las ordenadas, los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados (pág. 6).

Cemento Portland

ASOCEM (2013) define como “Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clínker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que generalmente contiene una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda” (pág. 3).

Cemento asfáltico

Se define por los autores Forero et al. (2015) lo siguiente:

El asfalto es un material derivado del petróleo, el cual se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Es viscoso y de color negro, mezclado con arena o gravilla se utiliza para pavimentar carreteras, es un material con muchas aplicaciones, se emplea en la construcción de carpetas, superficie de rodamiento, impermeabilización de estructuras, relleno de juntas de los pavimentos de concreto hidráulico, etc. (pág. 17).

Marshall Modificado

La aplicación del método Marshall Modificado, se plantea una vez establecido el diseño de mezcla de los agregados, del mismo que se realiza la preparación de probetas normalizadas, con diversas proporciones del agente reciclador de emulsión asfáltica con polímero CSS-1hp y Cemento portland tipo I, considerándose la referencia de la metodología del ensayo Illinois

Los autores concluyen lo siguiente:

El método “Marshall Modificado” es aplicable a mezclas recicladas en frío que utilicen sólo RAP y a aquellas que usen una combinación de éste con proporciones variables de agregado virgen. El aditivo a utilizar puede ser una emulsión asfáltica convencional o modificada con polímeros, o una combinación de estas emulsiones con cemento portland o cal. (Thenoux y García, 2001, pág. 12).

Criterios para el diseño de mezcla de agregados - Emulsión Asfáltica.

La formulación de la mezcla reciclada en frío, se efectuó con el método de Illinois “Marshall Modificado” establecido, según el procedimiento del Manual MS-14 del Instituto del Asfalto, bajo el criterio descrita en la tabla 2.

Tabla 2

Criterios para el diseño de mezcla de agregados – Emulsión Asfáltica

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb) a 22.2° C (72°F) Mezclas para pavimentos	2224 (500)	-
Porcentaje de Perdida de estabilidad Después de saturación de vacíos e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

Nota: Manual de carreteras- Especificaciones Técnicas Generales. (pág. 613)

Mezcla asfáltica en frío

Mediante el glosario de términos del MTC, se establece:

Es una mezcla en frío procesada en planta u otros medios, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivos de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento (MTC, 2008, pág. 34)

Reciclado de pavimentos en frío.

Propiamente el reciclado consiste en el tratamiento que se realiza a un pavimento que ha alcanzado su vida útil o por un deterioro prematuro, por lo que una rehabilitación mediante la reutilización de la carpeta asfáltica con el empleo de rejuvenecedores, como mezcla se alcance atenuar el deterioro.

Otro autor afirma lo siguiente:

“El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que ya han estado en servicio, materiales que han perdido algunas de sus propiedades iniciales por el uso o envejecimiento (cohesión, textura, composición, geometría, etc.), pero que tienen el potencial de ser reutilizados para integrar nuevas capas del pavimento (Chaman, 2007, pág. 11)”.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

Pavimento flexible

Los autores establecen lo siguiente:

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, para un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto a base de

varias capas de material principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la subbase (Rodríguez y Rodríguez 2004, pág. 18).

Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje

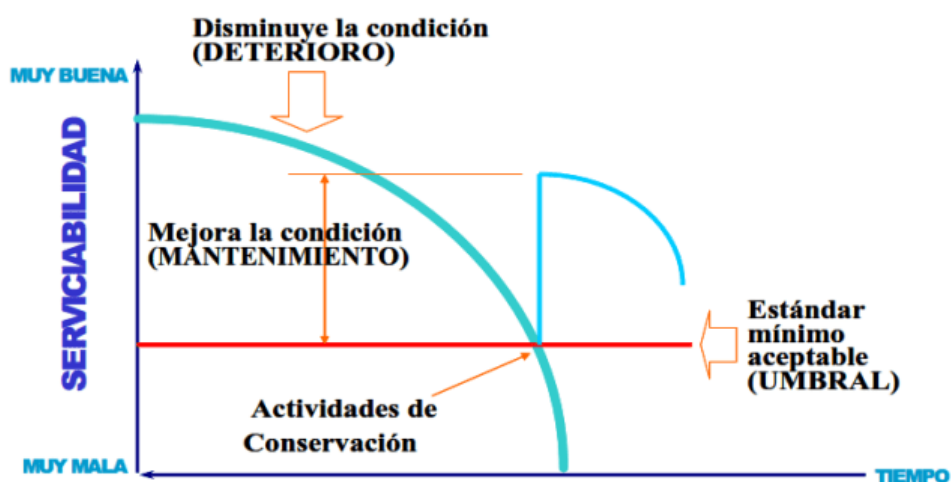
La aplicación de mezclas recicladas en frío, para la conservación y/o mantenimiento del pavimento, como es posible también en trabajos de rehabilitación, se antecede de una evaluación estructural o funcional, del cual se obtiene el estado situacional del pavimento, por lo que nos permite monitorear y alcanzar una serviciabilidad favorable, con el propósito de efectuar un programa de conservación, mantenimiento y/o rehabilitación en forma oportuna, razonable y económica, por lo que específicamente conlleva a disminuir la condición del deterioro prematuro.

En tal sentido el aprovechamiento por la reutilización de materiales de la carpeta de rodadura fresada, para la construcción de carreteras de bajo volumen de tránsito, es económicamente factible alcanzada su evaluación, como también para la conservación y/o mantenimiento del pavimento mediante técnicas de reciclados en frío.

El ciclo de vida del pavimento, expuesto en la Figura 1, demuestra cómo se conduce el deterioro total de la carpeta de rodadura, el cual conforma el pavimento flexible, mientras no se realice intervención alguna, por lo mismo que fomenta la conservación y/o mantenimiento de la carpeta de rodadura, mediante una intervención oportuna, teniéndose como alternativas el empleo de materiales en desuso, considerados como excedente proveniente de la carpeta de rodadura fresada del pavimento, previa evaluación funcional y estructural del pavimento y la formulación de la mezcla asfáltica como propuesta.

Figura 1

Fases de un pavimento con mantenimiento y actividad de conservación



Nota. AASHTO, Guide for design for Pavement Structures 1993

Curso: Construcción de Carreteras, Mantenimiento y Rehabilitación MIV402 - URP

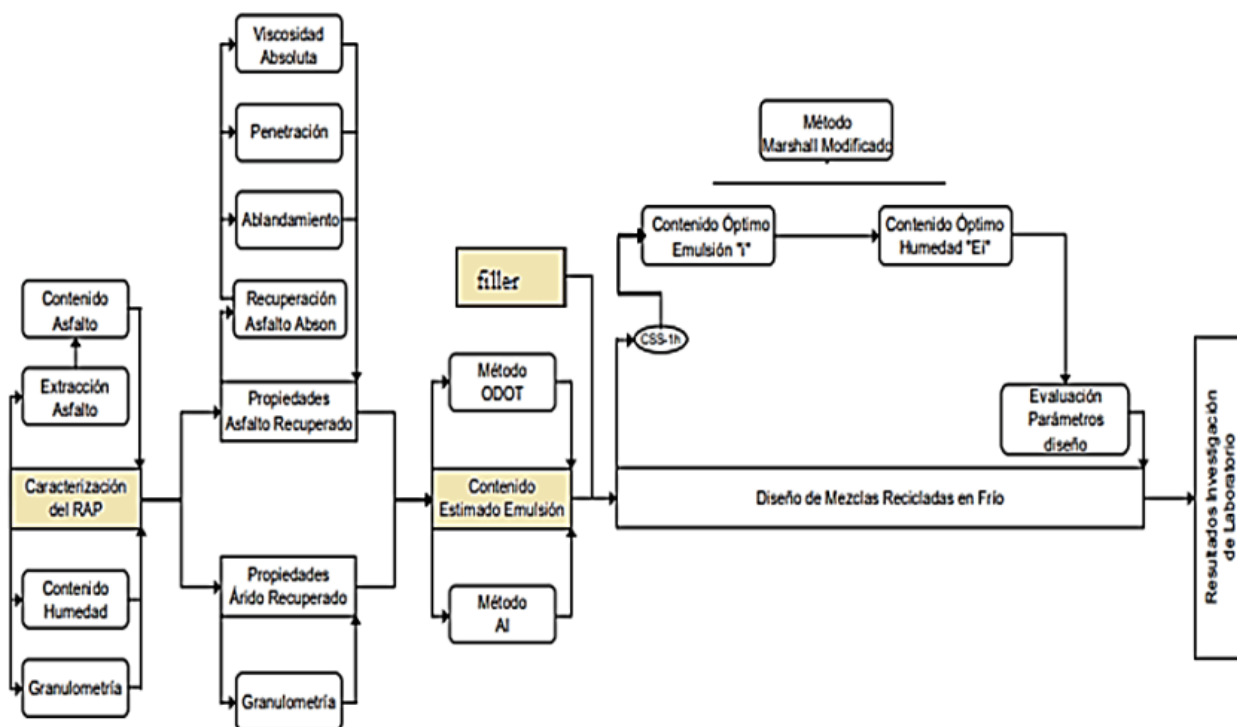
Por ello Méndez (2015) manifiesta La técnica del reciclaje in situ en frío

Reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido. El procedimiento usual y básico consiste en el fresado en frío de cierto espesor del pavimento, este material se mezcla con una proporción determinada de emulsión y otros aditivos. El nuevo material se extiende y se compacta, seguido del curado de la capa reciclada y por último la extensión de una capa delgada de rodadura a base de mezcla caliente (pág. 4).

Por lo tanto, ante un deterioro de la carpeta de rodadura prematuro o haber alcanzado su servicio, por esta investigación se sustenta la hipótesis de efectuar el reciclado en mezclas en frío para vías de bajo volumen de tránsito, tomándose como material al 100% la carpeta de rodadura fresada, considerándose los agentes rejuvenecedores de cemento portland y emulsiona asfáltica citada, en la formulación de la mezcla reciclada en frío, presentando en la **Figura 2** mediante el mapa conceptual.

Figura 2

Mapa conceptual del diseño de mezcla asfáltica reciclada



Comportamiento del pavimento.

Los actuales conceptos sobre el comportamiento, toma como principales consideraciones el comportamiento funcional, estructural y seguridad de un pavimento. Un aspecto de mayor importancia de este último es la resistencia a la fricción entre el pavimento – neumático.

El comportamiento estructural de los pavimentos se rige a la capacidad de soportar o resistir a las solicitaciones de cargas para el cuales fueron diseñadas. La estructura del pavimento es la de evitar deficiencias tempranas como, por ejemplo, fisuras, agrietamientos y fallas, sin embargo, estas están limitadas al tiempo de servicio para cual fueron construidas.

El comportamiento funcional se asocia a la capacidad del pavimento que tiene para brindar un servicio a los usuarios, en ese sentido las características predominantes son el confort o calidad de transitabilidad en este caso la rugosidad superficial, textura, adecuada fricción, fisuras, son deficiencias percibidas por los usuarios, en nuestro caso relaciona al nivel de deterioro del

pavimento, las probabilidades de dañar mercancías de transporte, el desgaste de los vehículos y consumo de energía.

Fano y Chávez (2017) manifiestan lo siguiente:

El comportamiento funcional, se refiere a que tan bien un pavimento sirve al usuario. En ese sentido, la característica predominante es el confort o calidad de la transitabilidad. Para poder evaluar esta característica se desarrolló el concepto de “serviciabilidad-comportamiento” recomendado en la carretera experimental de la AASHTO. (pág. 19).

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Estableciéndose la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, se obtendrá la optimización de los costos para el pavimento de bajo volumen de tránsito.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a. Identificando los parámetros de control del ensayo por desempeño, se alcanzará la formulación de la mezcla asfáltica reciclada.
- b. Al instaurarse el método de reciclaje, se conseguirá un nuevo tipo de asfaltado con las características propias de la mezcla asfáltica reciclada y costos.
- c. Efectuada la evaluación de los costos de materiales e insumos empleados, se logrará la formulación de la mezcla asfáltica reciclada sostenible, para pavimento de bajo volumen de tránsito.

3.2 Sistema de variables

3.2.1 Variable independiente

- Diseño mezcla asfáltica reciclada en frío, para la carpeta asfáltica, Vía del pavimento asfáltico reciclado de bajo volumen de tránsito.

3.2.2 Variable dependiente

- Optimización del costo en la formulación y producción de la mezcla asfáltica reciclada.

3.2.3 Definición conceptual

Existe una relación directa entre las variables ya que, dependiendo de la manipulación de los materiales empleado para la formulación del diseño de mezcla asfáltica reciclado, tendremos diferentes resultados en cuanto a las propiedades de la mezcla asfáltica reciclada como producto.

3.2.4 Definición operacional

Variable independiente (formulación del diseño de la mezcla reciclada en frio)

Se define operacionalmente la formulación de la mezcla asfáltica reciclada en frio, mediante la evaluación del comportamiento físico mecánico de la mezcla en mención, alcanzada la optimización de los materiales y agentes recicladores empleados proporcionalmente, en acorde a los parámetros de control establecidos.

Variable dependiente (Optimización del costo, según la formulación y análisis)

Se define operacionalmente Optimización del costo, según la formulación y análisis alcanzada la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, mediante la evaluación del comportamiento físico mecánico, en acorde a las proporciones establecidas y los parámetros de control.

3.2.5 Operacionalización de la variable

En la tabla 3 se presenta la operacionalización de la variable.

Tabla 3

Operacionalización de la variable Mezclas asfálticas recicladas en frio.

Variable	Definición	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad medida	Instrumento
Independiente: Formulación del diseño de mezcla reciclado en frio	Formulación de mezcla asfáltica se conforma del material reciclado al 100 % y proporciones variables de los agentes reciclador de emulsión y cemento, en acorde a la metodología de ensayos y exigencia de especificaciones.	El reciclado se obtiene del fresado, efectuado por una maquina mediante un proceso de mecanizado, para luego ser mezclado con emulsión y cemento.	Propiedades físicas y mecánicas del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> •Propiedades físicas y mecánicas de a mezcla asfáltica reciclada formulada •Características de los materiales empleados en la formulación. 	<ul style="list-style-type: none"> •N •mm •Mpa. •% •Lb •(0.01Lb) •g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> •Certificados de ensayos de laboratorio •Normas de metodología de ensayos •Ficha de recolección de datos. •Especificaciones técnicas •Laptop •Internet •Equipos de laboratorio mecánica de suelo •Revista de costos • Software S10
Dependiente: Optimización del costo, según la formulación y análisis.	El RAP consiste del proceso de fresado recuperado de la carpeta de rodadura, el cual alcanzo su vida útil de servicio.	La formulación alcanza mediante las proporciones óptimas de los materiales del fresado, agua y agentes recicladores en acorde a la exigencia de las especificaciones y por los ensayos por desempeño	Comparación de costo – beneficio.	<ul style="list-style-type: none"> •Análisis de Costos Unitarios. •Tiempo del proceso de conformación para el pavimento de bajo volumen de transito 		

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Método de investigación

Por el presente trabajo de investigación se considera el método deductivo con un enfoque cuantitativo cualitativo, por lo mismo que la información de los datos son tomados por ensayos y pruebas con valores numéricos, el cual están sujetos a toda interpretación, el mismo que nos permite establecer la metodología y diseño adecuado, para la aplicación de la carpeta de rodadura reciclada en el tramo de prueba, por lo que se describe el planteamiento del método.

- a. Recopilar información de otras investigaciones similares a nivel nacional e internacional y analizarlas.
- b. Identificación de la zona en estudio.
- c. Extracción de muestras para ensayos en laboratorio.
- d. Formulación de la mezcla reciclada en frio.
- e. Diseño de pavimento de bajo volumen de tránsito nuevo
- f. Metrado y Presupuesto
- g. Evaluación y discusión de resultados.
- h. Aplicación de la formulación de la mezcla reciclada y diseño del pavimento.

4.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva, explicativa y correlacional, por lo mismo que contribuye a determinar el hecho más relevante de la investigación, mediante la acumulación y procesamiento de datos, por el cual se busca la explicación de la causa que genera el tema de estudio.

4.3 Nivel de investigación

La investigación asumida alcanza el nivel de investigación relacional, dado que se busca entender la relación o asociación entre nuestras dos variables, sin establecer algún tipo de

causalidad entre ella, como resultado de ella se alcanza aportar indicios sobre las posibles causas del fenómeno del asfaltado con mezclas recicladas, sin dependencia entre variables.

En cuanto a la investigación correlacional Hernández et al (2014) establece “Para evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, en los estudios correlacionales primero se mide cada una de éstas, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba” (pág. 93).

4.4 Diseño de la Investigación

El presente trabajo de investigación usa el método deductivo, con un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), en razón a que los datos obtenidos están basados en valores numéricos y resultados de ensayos, que son susceptibles a la interpretación que permitirán establecer la metodología y diseño adecuado, para la aplicación de la mezcla asfáltica reciclada.

Ñaupas et al (2018) manifiesta que el enfoque cuantitativo “Se caracteriza por utilizar métodos y técnicas cuantitativas y por ende tiene que ver con la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de análisis, el muestreo, el tratamiento estadístico” (pág. 140).

Por el enfoque cualitativo Salgado (2007) afirma lo siguiente:

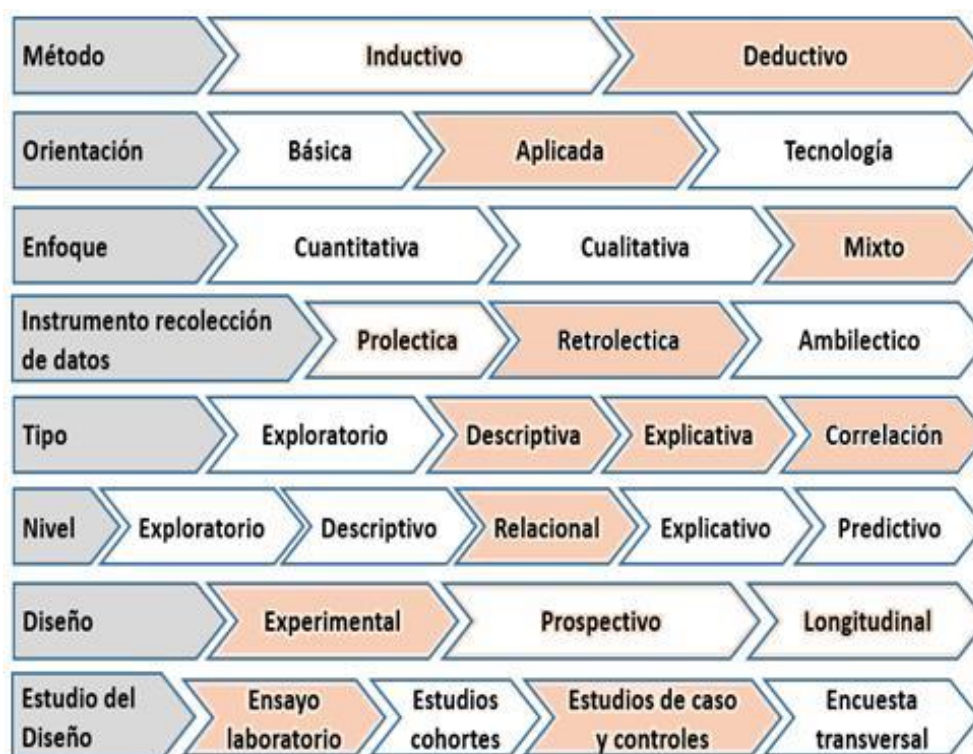
El término diseño en el marco de una investigación cualitativa se refiere al abordaje general que se utiliza en el proceso de investigación, es más flexible y abierto, y el curso de las acciones se rige por el campo (los participantes y la evolución de los acontecimientos), de este modo, el diseño se va ajustando a las condiciones del escenario o ambiente. (pág. 2)

El instrumento de recolección de datos asumida en esta investigación es retro lectiva, así como lo menciona Hernández et al (2014) “Recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” (Pág. 198).

Según la orientación de investigación, se designa como Aplicada la cual forma parte de la tipología de la metodología (Figura 3), por lo mismo que busca dar respuesta a preguntas del problema del cual está establecido y es conocido, para aplicarlo en la obtención de resultados como las propiedades mecánicas y los costos tentativos.

Figura 3

Tipología de la metodología



Nota. Esta investigación alcanza el estudio de diseño cohorte de causa y efecto.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

Según el autor Arias (2006) define población como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (pág. 81). Por lo mismo que se describe la población en la tabla 4.

Tabla 4*Población*

Descripción.	Norma	Ensayos (*)	Objetivo de estudio
Análisis Granulométrico	MTC E 502	01	Control de Calidad
Emulsión Asfáltica	ASTM D 2397	01	Control de Calidad
Lavado Asfáltico Mezcla asfáltica fresada	ASTM D 2172	01	Contenido de asfalto residual
Diseño mezcla asfáltica reciclada MARE	MTC E 510, MTC E 518	24	Contenido óptimo de compactación y estabilidad
Diseño mezcla asfáltica reciclada – M. Illinois	ASTM D 1559 MTC E 510, MTC E 518	72	Formulación Mezcla Asfáltica Reciclada
Ensayos por desempeño Método Lottman	AASHTO T 283	19	Aprobación del Diseño

Nota. (*) Indica cantidad y tipo de ensayo.

4.5.2 Muestra

Hernández (2014), establece que una muestra es un subconjunto de la población, elegido de acuerdo a determinados criterios, en este sentido, se considera cincuenta (50) ensayos físico mecánicos como muestra en total, del cual las 3/4 partes se precisa para formular el diseño de mezcla reciclada y el restante para el análisis y/o evaluación de la mezcla asfáltica formulada.

4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1 Instrumentos de recolección de datos.

Para nuestra investigación se utilizará la técnica de la observación y recopilación de datos haciendo un recorrido por toda la vía en la cual se adjuntará fotos y muestras de la superficie del terreno en estudio con unos formatos de evaluación y además de ensayos para la sustentación de las variables de la investigación.

- a. La inspección visual: mediante una verificación visual en campo y efectuándose los ensayos se obtendrá una prospección con mayor alcance para una interpretación amplia del trabajo de investigación planteado.
- b. Datos documentarios: por los trabajos a efectuarse en el tramo de prueba, se tendrá consideración de la data de las investigaciones nacionales e internacionales, el cual se encuentren relacionado al tema de nuestra investigación o semejante con la finalidad que se orienta el presente trabajo de investigación.
- c. Trabajos de gabinete: Paralelamente se obtendrá información de campo y resultados obtenidos, para el análisis o evaluación que conllevan a obtener las conclusiones, del tema por el cual se planteara la metodología a emplearse, estudio de tráfico, diseño del pavimento con mezcla reciclada, diseño de mezcla reciclada en frio y los ensayos de evaluación de la mezcla reciclada propiamente, como también los ensayos efectuados por servicios en laboratorios especiales y/o externos.
- d. Ensayo de laboratorio: Para una mayor comprensión del comportamiento y características de los materiales empleados en la mezcla asfáltica reciclada en frio, se efectuará los ensayos de laboratorio obteniéndose resultados, el mismo que se considera como información primaria para su interpretación y aporte al desarrollo de la investigación.

4.6.2 Métodos, herramientas y técnicas

La herramienta de investigación utilizada para en este estudio fueron pruebas y ensayos, ya que de esta manera podemos medir las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en frio formulas, en base a las Normas ensayos y Especificaciones Técnicas de control ASTM y AASHTO.

Por la recolección de los datos para esta investigación se utiliza técnicas de campos, artículos de investigación análogos y ensayo de laboratorio, cuyas técnicas alcanzara a

comprender ampliamente los procedimientos teóricos y prácticos con la finalidad de alcanzar los resultados.

Behar (2008) manifiesta lo siguiente:

La investigación no tiene sentido sin las técnicas de recolección de datos. Estas técnicas conducen a la verificación del problema planteado. Cada tipo de investigación determinará las técnicas a utilizar y cada técnica establece sus herramientas, instrumentos o medios que serán empleados. (pág. 55).

4.7 Descripción y procedimiento de análisis

Como primer paso, empezamos con la recolección de información sobre las diferentes metodologías de ensayos, en referencia al reciclado en frío, como es el control de calidad de los materiales y agregados empleados, para alcanzar la formulación de la mezcla reciclada.

Luego de la formulación se precisa de un análisis de los resultados con los parámetros establecidos, empleándose herramientas para el procesamiento de datos y posterior análisis ser el software Microsoft Excel 2016, para una representación de gráficos que nos muestran la relación entre las variables.

Como la población es finita, conociendo la población, la muestra y la consideración de la investigación experimental, no se precisa algún método estadístico, para evaluar la probabilidad entre los datos y frecuencias según la hipótesis nula, por lo que el procedimiento de análisis es descriptivo

CAPITULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Evaluación superficial de la carpeta asfáltica

El presente trabajo de investigación, considera la evaluación de condición funcional, atendiendo las características superficiales del pavimento, teniéndose el análisis de la falla de la carpeta asfáltica del cual se designa en la tabla 5,6 y 7, con la finalidad de proponer alternativas de mantenimiento y/o construcción del tramo de prueba, en los que se considera evaluar: la condición operacional de la superficie para determinar la falla recurrente, con el nivel de severidad y el valor PCI determinando, mediante el Método PCI, procedimiento establecido según la norma de ensayo ASTM D 6433-03.

Data considerada del tramo de prueba:

- Longitud del tramo 1,000.0 m
- Ancho de calzada 7.50 m
- Área de muestreo 300.0 m²

Tabla 5

Evaluación superficial de pavimentos flexibles

Falla	Daño	Severidad	Unidad	Ubicación		Longitud / Area / Unidad			Cantidades Parciales	Total
				X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	UND		
A	1	H	M2	0.40	3.20	2.50	2.25		5.63	
B	1	H	M2	1.20	27.50	1.83	0.74		1.35	9.33
C	1	H	M2	6.80	5.00	2.80	0.84		2.35	
D	1	M	M2	3.20	5.50	0.65	0.90		0.59	2.38
E	1	M	M2	4.10	37.50	2.90	0.62		1.80	
F	7	H	M	0.00	9.25	1.20			1.20	1.20
G	10	L	M	0.40	9.35	2.70			2.70	8.30
H	10	L	M	1.50	21.00	5.60			5.60	
I	11	M	M2	5.20	12.50	0.50	0.45		0.23	0.23
J	13	M	UND	2.25	22.50			1.00	1.00	2.00
K	13	M	UND	5.50	20.00			1.00	1.00	
L	15	M	M2	4.00	22.50	8.60	0.90		7.74	7.74

Nota: según el Manual del PCI

Tabla 6*Cálculo del valor deducido*

N°	Falla	Severidad	Unidad	Cantidades Parciales			Total	Densidad, %	Valor Deducido
1	PC	H	M2	5.63	1.35	2.35	9.33	3.11	45.92
2	PC	M	M2	0.58	1.80		2.38	0.79	19.56
3	GB	H	M	1.20			1.20	0.40	7.90
4	GLT	L	M	2.70	5.60		8.30	2.77	1.56
5	PA	M	M2	0.23			0.23	0.08	3.70
6	HUE	M	UND	1.00	1.00		2.00	0.67	25.30
7	AHU	M	M2	7.74			7.74	2.58	28.08

Máximo VDC = **45.92***Nota:* según el Manual del PCI**Tabla 7***Cálculo del valor deducido corregido*

N°	Valores deducidos						VDT	q	VDC
1	45.92	28.08	25.30	19.56	7.90	3.70	130.46	6	63.18
2	45.92	28.08	25.30	19.56	7.90	2.00	128.76	5	66.38
3	45.92	28.08	25.30	19.56	2.00	2.00	122.86	4	69.43
4	45.92	28.08	25.30	2.00	2.00	2.00	105.30	3	65.65
5	45.92	28.08	2.00	2.00	2.00	2.00	82.00	2	59.20
6	45.92	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	55.92	1	55.92

Máximo VDC = 69.43

Valor PCI = 30.57*Nota:* según el Manual del PCI

Análisis Evaluación superficial de la carpeta asfáltica:

Se identificó 07 tipos de fallas en el tramo de prueba, en acorde a lo establecido en el manual del PCI., como fallas de piel de cocodrilo, grieta de borde, grieta longitudinal y transversal, parcheo, huecos y ahuellamiento, del cual se alcanzó mediante cálculos el valor PCI = 30.57 (véase la Tabla 07), el mismo que encuentra en el rango de la clasificación como MALO (véase la Tabla 8), La intervención por ende conlleva a efectuar el mantenimiento mayor efectivo.

Tabla 8

Rango de Calificación del PCI

Rango	Clasificación
100 - 85	Excelencia
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Nota: Pavement Condition Index (PCI) / Manual PCI – 2

5.2 Diseño de mezcla asfáltica en frío – Método Illinois MS 14

El presente diseño se alcanza determinándose, el contenido de asfalto residual para la emulsión asfáltica de rotura lenta con polímero, con el análisis granulométrico del material de la carpeta asfáltica al 100%, considerándose como agregado pétreo el material mencionado, en razón que la penetración del contenido de asfalto de la carpeta asfáltica es inferior con respecto a la penetración original del mínimo especificado.

Teniéndose las consideraciones de la carpeta asfáltica, se efectúa los análisis granulométricos, contenido de premezcla, contenido de agua de compactación y la elaboración de los testigos de concreto asfáltico, en acorde a la metodología Marshall Modificada y parámetros de control del método Illinois.

a. Materiales pétreos:

El material establecido para esta investigación, se tiene en la mayor proporción la carpeta asfáltica fresada al 100% y el cemento portland tipo I al 1.0% como agente rejuvenecedor y/o llenante de vacíos de aire en la mezcla propuesta, el cual también genera mayor resistencia y sobre todo reduce la “sensibilidad al agua” por el curado o ruptura de la emulsión, del mismo se adjunta ficha técnica (Anexo 04).

b. Propiedades físicas y reológicas del ligante recuperado de la carpeta asfáltica:

Mediante el Método Abson recuperación del ligante asfáltico de la carpeta fresada ASTM D 1856 – 95, se obtiene y/o recupera el asfalto existente, con la finalidad de evaluar las características propias dando a conocer las características siguiente Penetración, Viscosidad absoluta y Punto de Ablandamiento, del cual los resultado se obtiene una penetración de 25.0% inferior al mínimo especificado 52.0% (véase anexo 02), con respecto a la penetración original mínima 60×10^{-1} mm y un índice de penetración (+2.18), considerándose un asfalto de alta susceptibilidad térmica y baja deformación elástica.

El cálculo del IP se obtiene mediante la expresión.

Formula:

Pfeiffer y Van Dormán

$$I_p = \frac{20 \times t_{RaB} + 500 \times \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 \times \log P + 120} \dots\dots\dots \text{ecuación 01.}$$

Donde:

P : Penetración en 0.1 mm a 25° C

T_{R&B} : Temperatura del punto ablandamiento, °C

Remplazando los valores de penetración y punto ablandamiento (véase anexo 02), en la ecuación 01

$$I_p = +2.18$$

c. Contenido de asfalto residual de prueba:

El resultado del contenido de asfalto residual de emulsión de prueba y/o teórico, se obtiene mediante los datos alcanzados en la tabla 9, el mismo que provienen de los ensayos experimentales físico mecánicos.

Tabla 2*Constantes del análisis granulométrico.*

Descripción	Materiales				Denominación
	M-01	M-02	M-03	Promedio	
Tamices					
% Retenido en el tamiz N°4	43.4	42.1	46.1	43.9	A
% Pasa entre el tamiz N°4 y N° 200	44.8	45.9	41.7	44.1	B
% Pasa en el tamiz N° 200	11.8	12.0	12.2	12.0	C

Cálculo del contenido de asfalto residual.

$$R = 0.00138 A, B + 6.358 \log_{10} C - 4.655 \dots\dots\dots \text{ecuación 02.}$$

Donde.

R = Contenido asfáltico residual de prueba por peso del agregado seco, %

A = Porcentaje del agregado retenido en el tamiz #4

B = Porcentaje del agregado que pasa por el tamiz #4 y retenido en tamiz #200

C = Porcentaje del agregado que pasa por el tamiz #200

Remplazando las constantes de A, B y C, en la ecuación 02

$$R = 0.00138 \times 43.9 \times 44.1 + 6.358 \log_{10} C - 4.655$$

$$R = 4.87 \%$$

d. Revestimiento y contenido de agua premezcla:

En el diseño se considera el agua de premezcla, para ello es añadida en forma proporcional el agua desde el 1.0 %, hasta 6.0 %, como se indica en la tabla 10, al material fresado y filler, con la emulsión asfáltica con un contenido asfáltico residual de 4.87% obtenido, alcanzando el revestimiento y recubrimiento, por un tiempo de rotura de 10 minutos aproximado, considerándose desde el tiempo del término de mezclado asfáltico en frío, alcanzando evaluación mediante revestimiento en función al tiempo de rotura de la emulsión asfáltica.

Tabla 10*Porcentaje del contenido de agua de premezclado*

Contenido de agua adicionada, %	Revestimiento estimado, 10 minutos	Revestimiento estimado, 24 horas
1.0	80	80
2.0	90	80
3.0	95	90
4.0	100	95
5.0	100	100
6.0	100	100

Nota. El porcentaje de agua adicionada es 5.0%

Del cual se menciona con el cálculo siguiente

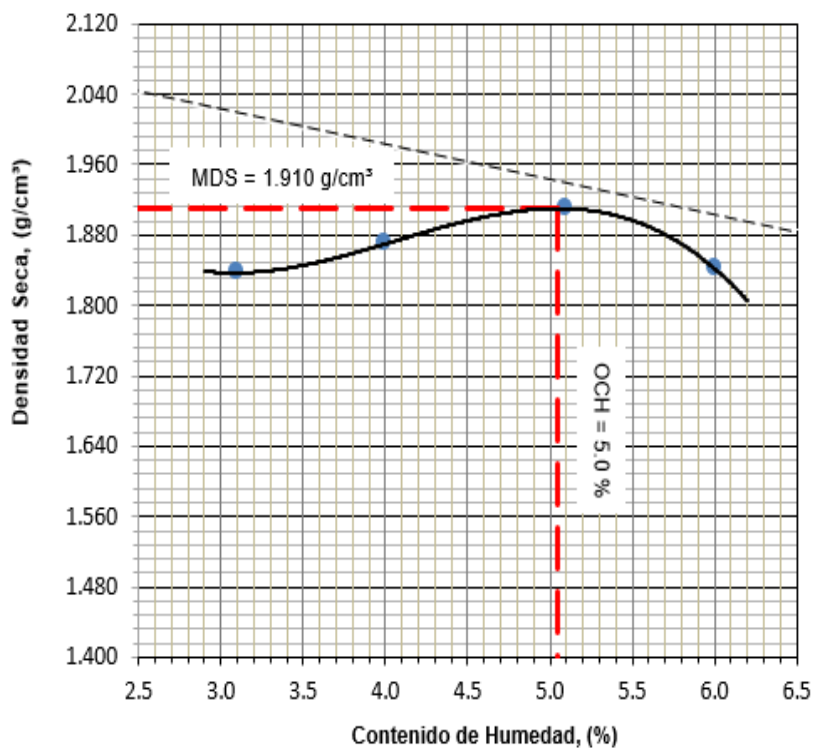
- ✓ Contenido de emulsión. Asfáltica $4.87/60.1 = 8.2\%$.
- ✓ Agua en la emulsión $8.20 - 4.87 = 3.33\%$.
- ✓ Porcentaje del contenido del agua de premezclado = $5.0 + 3.33 = 8.50\%$ aproximado, para efectuar la pre envuelta del asfalto residual de la emulsión con el filler y agua necesaria.

e. Contenido del agua en compactación.

Para determinar el contenido del agua en compactación, se efectuó específicamente con los materiales de los agregados pétreos establecidos de carpeta asfáltica fresada al 100% y cemento portland al 1.0, con una dosificación variable de agua desde 3.0%, 4.0%, 5.0% y 6.0%, se realiza el ensayo Proctor Modificado ASTM D 1556, alcanzando una densidad máxima seca de 1.910 g/cm^3 , con un contenido de humedad óptimo 5.0% (véase la fig 4), similarmente se obtuvo mediante la resistencia máxima alcanzada, el contenido del agua para la compactación (véase Figura 5).

Figura 4

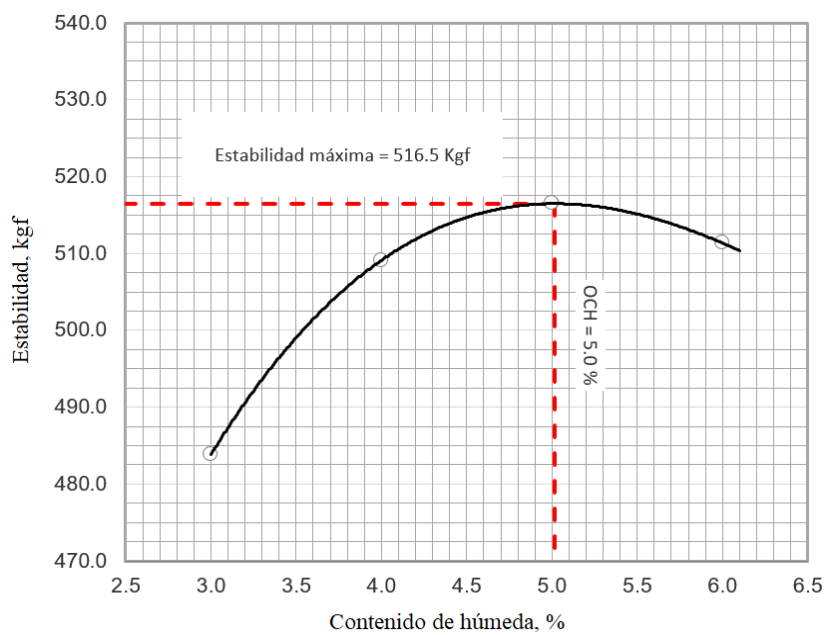
Contenido del agua en compactación 5.0%.



Nota. Según el ensayo Proctor modificado

Figura 5

Contenido del agua para la compactación 5.0%.



Nota. Según ensayos de resistencia / estabilidad

f. Preparación de los especímenes de ensayo

Esta preparación conlleva a efectuar cálculos de las cantidades a emplearse para efectuar los especímenes y determinar las características de la mezcla asfáltica emulsionada en frío, en relación al contenido de asfalto residual como se designa en la tabla 11.

Las siguientes fórmulas del método de ensayo Illinois es utilizada para los cálculos:

$$\text{A) Peso del agregado seco al aire} = \frac{a}{100 - b} \times 100 \quad \text{ecuación 03}$$

$$\text{B) Peso de la emulsión} = \frac{a \times c}{d} \quad \text{ecuación 04}$$

$$\text{C) Peso del agua de premezcla a añadir} = a \left(f - b - \frac{e \times c}{d} \right) / 100 \quad \text{ecuación 05}$$

$$\text{D) Peso de la pérdida de agua para compactación} = a \left(\frac{f - g}{100} \right) \quad \text{ecuación 06}$$

Tabla 11

Cálculo para la elaboración especímenes y/o testigos de concreto asfáltico

a.- Peso del agregado seco, g.	1,045.0	1,050.0	1,050.0	1,050.0
b.- Contenido de agua del agregado secado, %	0.5	0.5	0.5	0.5
c.- Contenido asfáltico residual deseado, %	3.0	4.0	5.0	6.0
d.- Asfalto residual de la emulsión, %	60.0	60.0	60.0	60.0
e.- Contenido de agua en emulsión, %	40.0	40.0	40.0	40.0
f.- Contenido de agua de premezcla, %	8.5	8.5	8.5	8.5
g.- Contenido de agua compactación, %	5.0	5.0	5.0	5.0
<hr/>				
A.- Peso del agregado secado al aire g.	1,050.3	1,055.3	1,055.3	1,055.3
B.- Peso de la emulsión, g.	52.3	70.0	87.5	105.0
C.- Peso de agua premezcla, g.	62.7	56.0	49.0	42.0
D.- Peso de pérdida de agua / compactación,	36.6	36.8	36.8	36.8

Nota. Formulas consideradas en acorde al Manual MS 14

Se alcanza valores de entrada apropiados para la elaboración de los especímenes, por cada combinación de los agregados con el asfalto residual dosificado, del cual conlleva establecer las tablas 12,13,14 y 15, según los ensayos experimentales efectuados como se indica.

Tabla 12*Características de mezclas asfálticas en frío – Asfalto residual 3.0%*

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	5.0 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	3.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.0	Gravedad específica aparente (°C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	8.3	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %.	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado		
	I	II	III	IV	V	VI
Densidad Bulk						
1 Peso de la probeta en aire (D), g.	999.0	995.0	995.0	1,083.0	1,089.1	1,086.7
2 Peso de la probeta en agua (E), g.	511.0	510.5	508.0	589.0	576.0	570.0
3 Peso de la probeta SSD (F), g	1010.0	1015.0	1012.0	1,115.4	1,104.4	1,097.1
4 Volumen por desplazamiento, cm ³	499.0	504.5	504.0	526.4	528.4	527.1
5 Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,002.0	1,972.2	1,974.2	2,057.4	2,061.1	2,061.7
6 Densidad Seca Bulk, kg/m ³	1,986.2	1,914.6	1,962.9			
7 Espesor, mm.	64.0	65.2	64.0	65.0	64.5	64.0

Estabilidad (22.2 °C)						
1 Estabilidad, Kg-f	883.1	946.0	781.3	377.5	485.3	367.8
2 Factor de corrección	1.04	1.04	1.04	0.96	0.96	0.96
3 Estabilidad corregida, Kg-f.	918	984	813	362	466	353
4 Flujo, mm.	3.5	3.2	3.6	5.7	4.9	4.7

Contenido de humedad						
1 Peso de la muestra húmeda (H), g.	1012.0	1031.0	1009.0	1128.0	1135.1	1134.7
2 Peso de la muestra seca (I),g.	994.0	985.0	987.0	1058.0	1061.1	1064.7
3 Tara (J), g.	115.7	121.7	120.0	121.6	148.0	125.0
4 Contenido de humedad (K), %	0.82	3.10	0.59	4.14	6.62	6.53
5 Humedad absorbida, %					4.3	

Características						
1 Máximo total de vacíos, %.	12.67	15.82	13.69			
2 Vacíos de aire, %.	11.08	10.05	12.56			
3 V. M. A. %.	18.4	21.3	19.4			
4 % Pérdida de estabilidad		56.5				

Nota: Mezcla asfáltica en frío con 3.0% de asfalto residual

Tabla 13*Características de mezclas asfálticas en frío – Asfalto residual 4.0%*

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	6.7 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	4.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.00	Gravedad específica aparente (C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	9.4	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %.	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado			
	K	M	O	J	L	N	
Densidad Bulk							
1	Peso de la probeta en aire (D), g.	1,070.0	1,072.2	1,072.7	1,063.0	1,035.7	1,069.4
2	Peso de la probeta en agua (E), g.	566.4	571.0	550.0	566.4	566.0	569.0
3	Peso de la probeta SSD (F), g	1,096.8	1,099.1	1,084.9	1,098.8	1,066.1	1,086.9
4	Volumen por desplazamiento, cm ³	530.4	528.1	534.9	532.4	500.1	517.9
5	Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,017.3	2,030.3	2,005.4	1,996.6	2,071.0	2,064.9
6	Densidad Seca Bulk, kg/m ³	1,995.6	2,020.2	1,993.2			
7	Espesor, mm.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

2,003.0

Estabilidad (22.2 °C)							
1	Estabilidad, Kg-f	723.0	710.2	685.8	500.9	483.9	470.0
2	Factor de corrección	0.96	0.96	0.96	0.96	1.04	1.00
3	Estabilidad corregida, Kg-f.	694	682	658	481	503	470
4	Flujo, mm.	6.1	4.8	4.1	6.1	5.9	4.7

Contenido de humedad							
1	Peso de la muestra húmeda (H), g.	1092.0	1085.2	1082.7	1108.0	1070.7	1109.4
2	Peso de la muestra seca (I),g.	1055.0	1054.0	1064.7	1039.0	1015.7	1054.4
3	Tara (J), g.	120.0	195.0	121.7	123.8	268.0	121.7
4	Contenido de humedad (K), %	1.13	0.52	0.64	3.77	3.42	4.18
5	Humedad absorbida, %					3.0	

Características							
1	Máximo total de vacíos, %.	11.20	10.10	11.31			
2	Vacíos de aire, %.	9.02	9.09	10.08			
3	V. M. A. %.	18.8	17.8	18.9			
4	% Pérdida de estabilidad		28.5				

Nota. Mezcla asfáltica en frío con 4.0% de asfalto residual

Tabla 14*Características de mezclas asfálticas en frío – Asfalto residual 5.0%*

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	1202.0 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	5.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.00	Gravedad específica aparente (°C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	803.0	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %.	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado			
	X	XI	XV	XII	XIII	XIV	
Densidad Bulk							
1	Peso de la probeta en aire (D), g.	1,058.5	1,062.4	1,060.5	1,047.4	1,062.1	1,045.3
2	Peso de la probeta en agua (E), g.	558.0	558.0	560.0	550.0	556.0	552.0
3	Peso de la probeta SSD (F), g	1,080.0	1,080.6	1,082.7	1,076.3	1,091.1	1,077.2
4	Volumen por desplazamiento, cm ³	522.0	522.6	522.7	526.3	535.1	525.2
5	Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,027.8	2,032.9	2,028.9	1,990.1	1,984.9	1,990.3
6	Densidad Seca Bulk, kg/m ³	2,015.9	2,011.1	2,022.8			
7	Espesor, mm.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

Estabilidad (22.2 °C)							
1	Estabilidad, Kg-f	553.4	546.0	551.3	502.5	487.9	478.6
2	Factor de corrección	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	0.96
3	Estabilidad corregida, Kg-f.	553	546	551	482	468	459
4	Flujo, mm.	5.0	4.7	4.9	4.6	3.5	5.1

Contenido de humedad							
1	Peso de la muestra húmeda (H), g.	1073.5	1080.4	1078.5	1083.4	1098.1	1083.3
2	Peso de la muestra seca (I),g.	1046.5	1052.4	1053.5	1030.4	1047.1	1029.3
3	Tara (J), g.	115.7	150.6	120.0	158.0	183.7	176.8
4	Contenido de humedad (K), %	0.62	1.14	0.31	2.90	2.68	2.72
5	Humedad absorbida, %				2.1		

Características							
1	Máximo total de vacíos, %.	9.25	9.46	8.94			
2	Vacíos de aire, %.	8.06	7.28	8.33			
3	V. M. A. %.	18.8	18.9	18.5			
4	% Pérdida de estabilidad	14.6					

Nota. Mezcla asfáltica en frío con 5.0% de asfalto residual

Tabla 15*Características de mezclas asfálticas en frío – Asfalto residual 6.0%*

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	10.0 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	6.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.00	Gravedad específica aparente (°C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	11.6	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %.	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado			
	1A	1B	1C	1	1D	1E	
Densidad Bulk							
1	Peso de la probeta en aire (D), g.	1,043.6	1,010.9	1,014.8	1,031.5	1,020.8	1,028.1
2	Peso de la probeta en agua (E), g.	544.0	536.0	537.0	551.0	543.0	541.0
3	Peso de la probeta SSD (F), g	1,062.4	1,033.4	1,041.4	1,068.2	1,049.9	1,069.9
4	Volumen por desplazamiento, cm ³	518.4	497.4	504.4	517.2	506.9	528.9
5	Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,013.1	2,032.4	2,011.9	1,994.4	2,013.8	1,943.8
6	Densidad Seca Bulk, kg/m ³	1,994.6	2,007.5	2,011.0			
7	Espesor, mm.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

Estabilidad (22.2 °C)							
1	Estabilidad, Kg-f	508.1	437.1	486.3	395.2	379.3	380.9
2	Factor de corrección	1.00	1.04	1.04	1.00	1.04	0.96
3	Estabilidad corregida, Kg-f.	508	455	506	395	394	366
4	Flujo, mm.	5.1	4.3	4.3	4.9	4.6	4.5

Contenido de humedad							
1	Peso de la muestra húmeda (H), g.	1061.6	1028.9	1031.8	1069.5	1054.8	1068.1
2	Peso de la muestra seca (I),g.	1034.6	995.9	1004.8	1018.5	1010.8	1015.1
3	Tara (J), g.	151.4	150.0	147.5	205.0	182.7	182.7
4	Contenido de humedad (K), %	0.98	1.32	0.05	1.86	1.91	1.43
5	Humedad absorbida, %					0.95	

Características							
1	Máximo total de vacíos, %.	9.19	8.60	8.45			
2	Vacíos de aire, %.	7.34	6.11	8.35			
3	V. M. A. %.	20.4	19.9	19.7			
4	% Pérdida de estabilidad		21.3				

Nota. Mezcla asfáltica en frío con 6.0% de asfalto residual

g. Característica de la mezcla asfáltica en frío con emulsión y filler.

Con los valores obtenidos en las tablas 12,13,14 y 15, efectuada la elaboración de los especímenes, se establece las características volumétricas de la mezcla en mención, con respecto al contenido óptimo del asfalto residual, del mismo que se constituye en la tabla 16, en acorde a la metodología del método Illinois.

Tabla 16*Características de mezclas asfálticas en frío – Método Illinois*

Número de golpes	50		
% Emulsión asfáltica (en peso de los agregados)	7.8	8.2	8.5
% Asfalto residual (en peso de los agregados)	4.7	4.9	5.1
Densidad seca bulk, g/cm ³ .	2.016	2.017	2.016
Estabilidad modificada seca, kg.	483.5	475.3	464.2
Estabilidad modificada húmeda, kg.	580.1	559.5	541.7
Cambios de estabilidad, %.	16.9	15.1	14.2
Vacios totales, %	9.6	9.3	9.1
Húmedad absorbida, %	2.4	2.2	2.0
Revestimiento, %		100.0	
Desprendimiento, % retenido	.-	+95	.-

Nota. Características del contenido óptimo de asfalto residual ± 0.2

Analizando las características de la mezcla, se alcanza la pérdida de estabilidad y la humedad absorbida véase la tabla 17, del mismo que se muestra en la Figura 6,

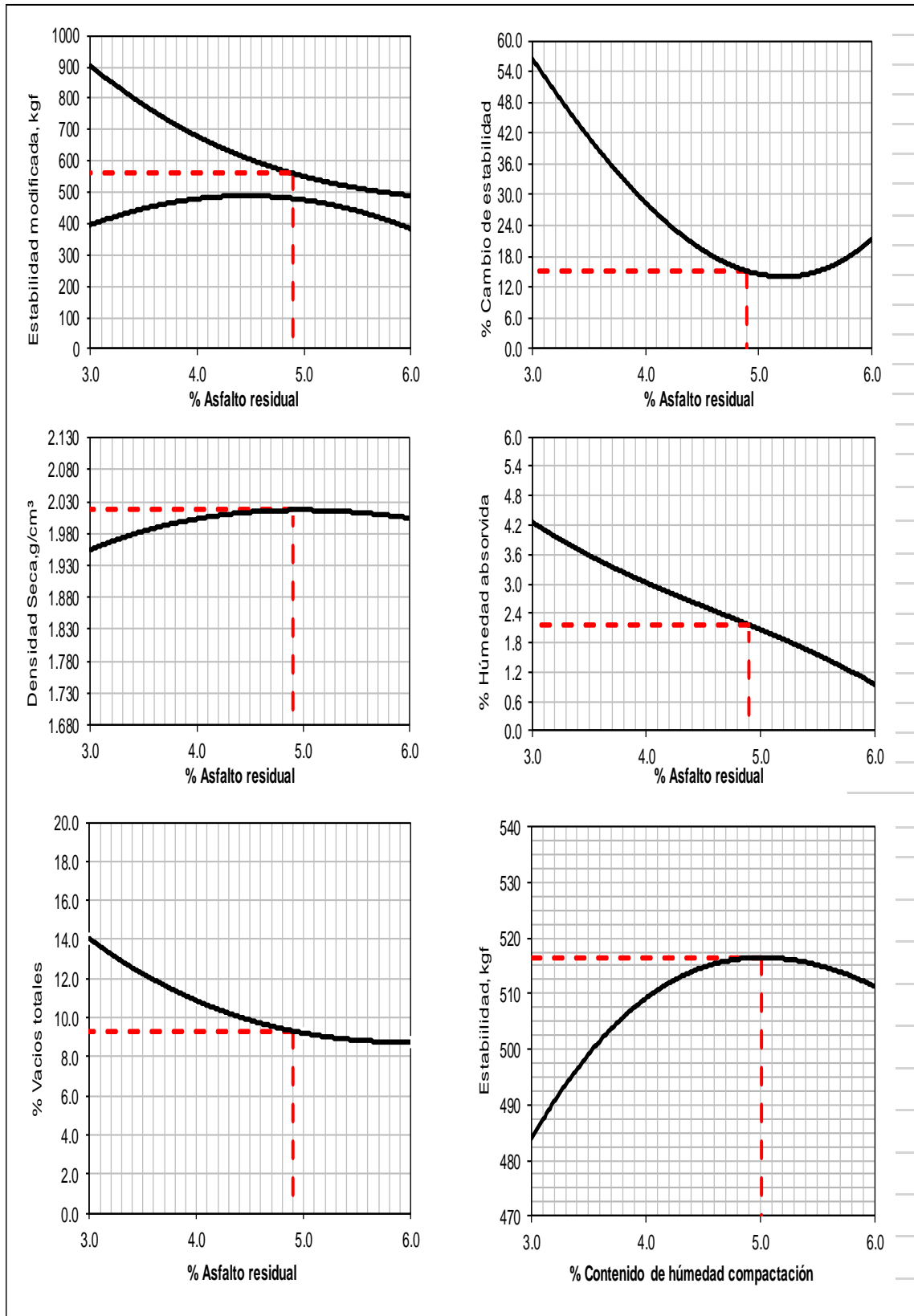
Tabla 17*Pérdida de estabilidad y humedad absorbida – Método Illinois*

Asfalto residual en la mezcla, %	3.0	4.0	5.0	6.0
Húmeda absorbida, %	4.3	3.0	2.1	0.9
Pérdida de estabilidad, %	56.5	28.5	14.6	21.3

Nota. Según el contenido óptimo de asfalto residual ± 0.2

Figura 6

Característica según el óptimo contenido de asfalto residual – Método Illinois



Nota. Según el óptimo contenido de asfalto residual ± 0.2 / Método Illinois

Análisis del Diseño de mezcla asfáltica en frío – Método Illinois MS 14

Por la formulación del diseño de mezcla asfáltica en frío, se consideró el ensayo de recubrimiento y adherencia, según el manual MS-19, en recomendaciones de la Universidad de Illinois; Así mismo previamente se consiguió optimizar el contenido de agua para la compactación de 5.0% (véase Figura 5), mediante el incremento de agua con el óptimo contenido de emulsión asfáltica teórica calculado, para luego obteniéndose una curva de contenido de agua y estabilidad máxima, seguidamente incrementándose en 0.5% en asfalto residual, se obtuvo las características de la mezcla deseada, con un contenido óptimo residual de 4.9% (véase Figura 5).

El análisis por el parámetro estructural de la mezcla asfáltica reciclada en frío obtenida, con los agregados empleados de carpeta asfáltica fresada al 100% y el contenido óptimo de asfalto residual de 4.9%, alcanzo una estabilidad máxima 475.3 kgf. (1,047.86 lb) superior al mínimo especificado 226.8 kgf. (500.0 lb), con una pérdida de estabilidad inferior 14.6% al máximo especificado 50.0% y una humedad absorbida inferior (2.1%) al máximo especificado (4.0%).

Para la formulación de la mezcla asfáltica en frío, se obtuvo un recubrimiento del 100% superior al mínimo especificado 50%, para un contenido de asfalto residual de emulsión 4.9%.

5.3 Resultados por la evaluación del daño por humedad– Ensayo Lottman

Los resultados corresponden al ensayo de la resistencia a la humedad inducida, las mismas que fueron sometidos a las condiciones de saturación propia del ensayo establecido por la norma AASHTO T 283 y considerándose la metodología del método Illinois, por el cual se mide la pérdida de cohesión de las muestras acondicionadas al congelamiento y deshielo respecto especímenes sin acondicionar como se designa en la tabla 18, en el cual se observa la razón del esfuerzo a la tensión, consecuencia de las condiciones de saturación en el desecador y ensayados en la condición superficie saturada y superficialmente seca, el mismo que nos permite evaluar la susceptibilidad de la mezcla a la humedad.

Tabla 18

Resultados de ensayo de la susceptibilidad a la humedad – Método Lottmán

Acondicionamiento de Muestra	Seco ^(d)			Húmedo ⁽¹⁾		
	1	1A	1B	1C	1D	1E
Promedio de vacíos de aire (%)	14.0			14.0		
Grado de Saturación promedio - después de saturación parcial (%)	-			71.9		
Grado de Saturación promedio - después del acondicionamiento húmedo (%)	-			52.0		
Hinchamiento Promedio después de la saturación parcial (%)	-			2.1		
Hinchamiento Promedio después del acondicionamiento, (%)	-			-1.1		
Resistencia a la Tensión en cada especimen - psi	40.2	38.5	39.6	29.6	31.3	31.8
Promedio de Resistencia a la Tensión en cada condición - psi (St_d , St_1)	39.5			30.9		
Daño por humedad (visual) ⁽²⁾	0			3		
Agregados fracturados (visual)	No presenta			No presenta		

Razón del esfuerzo a la tensión - TSR (promedio St_1/St_d) = 78.3%

NOTA:

(1) Acondicionamiento húmedo: - 18°C +/- 3°C por 16 horas luego a 60°C +/- 1.0°C por 24 horas.

(2) Daño por humedad (visual) - escala de 0 - 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento)

Análisis del ensayo de la susceptibilidad a la humedad – Método Lottman

Por el análisis se hace constar que la mezcla asfáltica, alcanzo un buen desempeño al daño por la humedad inducida, con un resultado de la razón del esfuerzo a la tensión superior 82.5% al mínimo especificado 80.0%, en acorde a la metodología establecida del método del ensayo, después de pasar por un proceso de congelamiento y deshielo.

En el ensayo de la mezcla asfáltica reciclada, se observó el hinchamiento libre de la probeta de concreto asfáltico, mostrando un colapso expresado con valor promedio negativo (véase la tabla 18).

5.4 Evaluación por el costo de la mezcla asfáltica en frío reciclado y convencional

a. Propuesta de mezcla asfáltica reciclada en frío MARE.

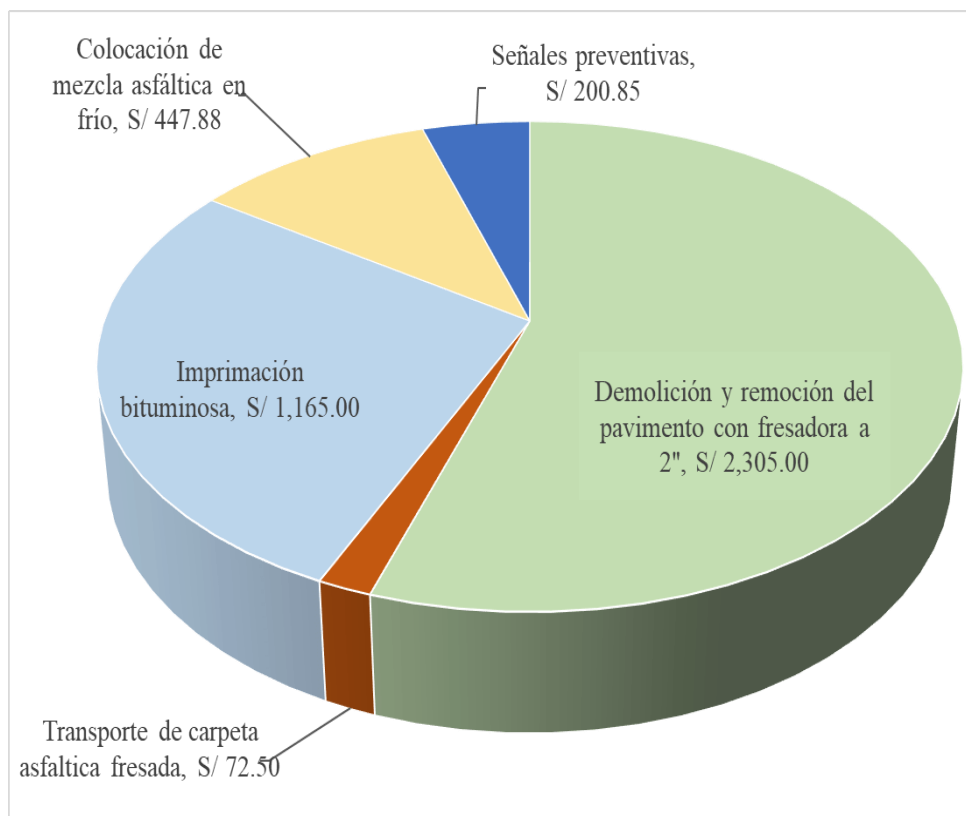
Teniéndose la evaluación superficial de la carpeta asfáltica, tras haber cumplido su vida útil en vías de zona urbana, se alcanza el tipo de falla, el mismo que demanda el tratamiento a efectuarse, como es el reciclado con mezclas asfálticas en frío, parches profundos, slurry seal y/o recapeo con mezclas asfáltica convencional, considerándose un presupuesto económico viable o sostenible, para el tipo de vía. La investigación propone como alternativa la reutilización de la carpeta asfáltica, mediante mezclas asfáltica en frío recicladas con rejuvenecedores, buscando reducir el impacto ambiental en nuestro país, mediante estas nuevas técnicas de reciclaje en frío, con el propósito específico del beneficio social.

Por consiguiente mediante el análisis de precios unitarios, considerándose la actualización de precios del mercado por los materiales, mano de obra e insumos, los costos se reducen como es para una rehabilitación del pavimento, empleándose la metodología del reciclado in situ en frío con emulsión asfáltica, tratándose específicamente con pavimentos de bajo volumen de tránsito, del cual se designa un presupuesto actualizado en la tabla 19 y Figura 7, alcanzando la conservación de los recursos naturales por la reutilización y/o recuperación de los agregados pétreos y del cemento asfáltico, se ha obtenido un presupuesto a costo directo de S/. 6,191.23, para un área de 250.0 m² y con un espesor de 5.0 cm., por lo mismo que al efectuarse la preparación de la mezcla in situ, el costo sería menor del análisis efectuado en esta investigación, como es posible reducir los costos a mayora área de colocación, por el cual se establece lo formulado mediante el análisis de precio unitario (véase anexo 03).

Tabla 19*Presupuesto de mezcla asfáltica reciclada en frío (MARE).*

PRESUPUESTO				
Rendimiento	Und	Metrado	Precio S/.	Costo S/.
Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
Demolición y remoción del pavimento con fresadora a 2"	m2	250.00	9.22	2,305.00
Transporte de carpeta asfáltica fresada	m3	25.00	2.90	72.50
Imprimación bituminosa	m2	250.00	4.66	1,165.00
Colocación de mezcla asfáltica en frío	m2	12.50	35.83	447.88
Señales preventivas	und	1.00	200.85	200.85
			Costo Directo	6,191.23
			Gastos Generales 10%	20.09
			Utilidad 10%	20.09
			Sub total	6,231.40
			IGV 18%	1,121.65
			Total Presupuesto	7,353.05

Nota. Análisis de precios efectuados a marzo del 2023

Figura 7*Partidas de mayor incidencia del presupuesto Mezcla asfáltica en frío*

Nota. Análisis de precios efectuados a marzo del 2023

b. Propuesta de mezcla asfáltica convencional en caliente MAC.

Esta propuesta de mezclas asfálticas en caliente se efectúa en plantas fijas o móviles, por lo mismo que para nuestro análisis se considera de una planta fija, en el cual la mezcla es de agregados vírgenes y cemento asfáltico, de acuerdo al diseño formulado según la metodología Marshall, por lo que para ello se tiene que calentar y asegurar la temperatura de mezcla que alcance la uniformidad y recubrimiento.

El análisis del precio unitario, bajo las consideraciones mencionadas, a costo directo obtenemos un valor de S/6,463.73, para un área de 250.0 m² de reposición de carpeta asfáltica fresada en trabajos de rehabilitación y/o mejoramiento de un pavimento asfáltico al haber cumplido su vida útil, del mismo que se alcanza un presupuesto en la Tabla 20 y Figura 8, como también el presupuesto en detalle en el (véase anexo 02).

Tabla 20

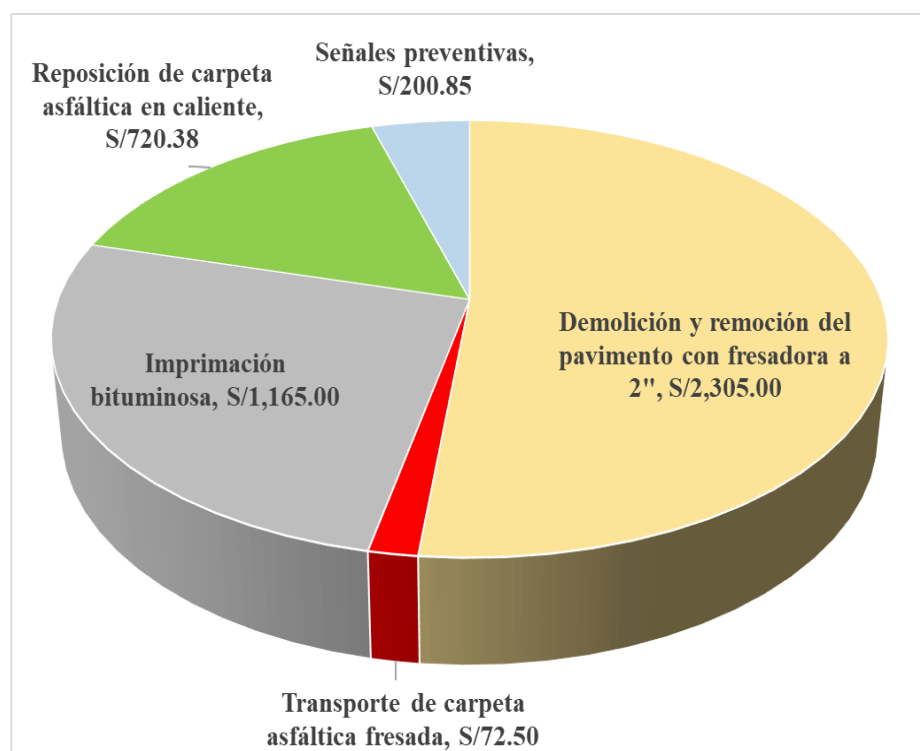
Presupuesto de mezcla asfáltica en caliente (MAC).

PRESUPUESTO				
Partida	Und	metrado	Precio S/.	Costo S/.
Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
Demolición y remoción del pavimento con fresadora a 2'	m2	250.00	9.22	2,305.00
Transporte de carpeta asfáltica fresada	m3	25.00	2.90	72.50
Imprimación bituminosa	m2	250.00	4.66	1,165.00
Reposición de carpeta asfáltica en caliente	m2	12.50	57.63	720.38
Señales preventivas	und	1.00	200.85	200.85
			Costo Directo	6,463.73
			Gastos Generales 10%	646.37
			Utilidad 10'	646.37
			Sub total	7,756.47
			IGV 18%	1,396.16
			Total Presupuesto	9,152.63

Nota. Análisis de precios efectuados a marzo del 2023

Figura 8

Partidas de mayor incidencia del presupuesto Mezcla asfáltica en caliente



Nota. Análisis de precios efectuados a marzo del 2023

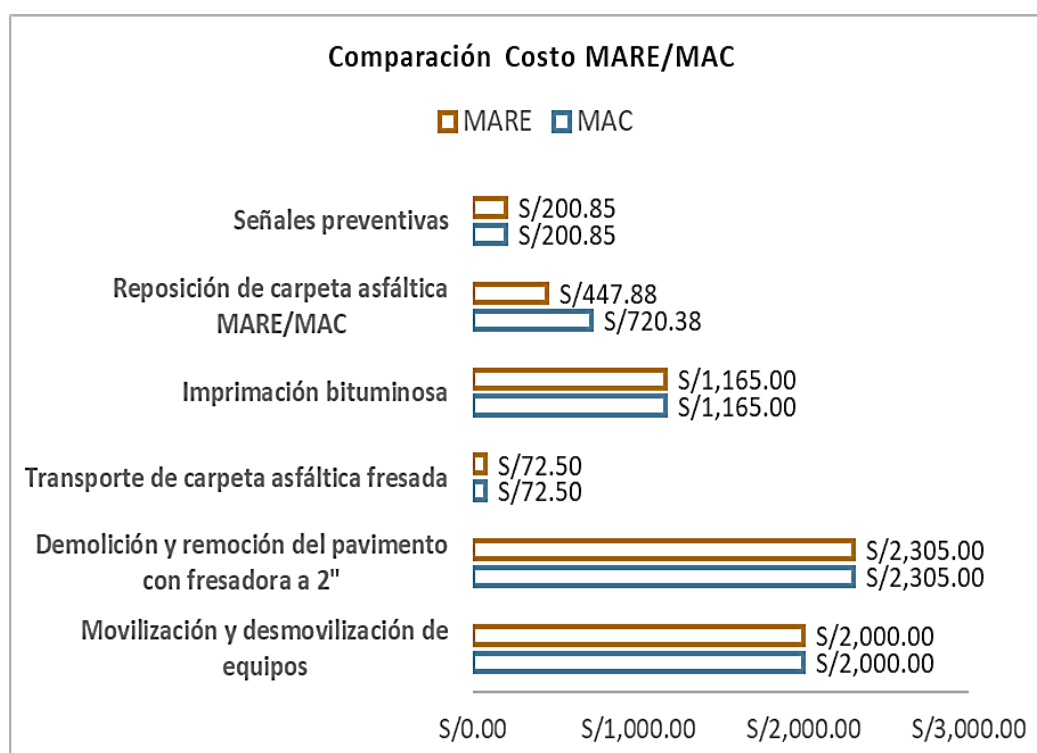
c. Correlación de costo por la mezcla asfáltica en frío y convencional en caliente.

La correlación de costos se manifiesta efectuando el análisis, mediante el uso de pavimentos reciclados como el más económico y ambientalmente sostenible, por lo mismo que la carpeta fresada y retirada, demanda mayores exigencia por evitar la contaminación, como el apropiado depósito de materiales excedente del fresado, por lo que nuestra alternativa es el aprovechamientos de este material, al haber cumplido su vida útil, con el propósito del beneficio de reducir costos como se demuestra Figura 9, la reducción específicamente está en la reposición de la carpeta asfáltica, para un presupuesto total S/ 7,353.05 con mezclas asfálticas recicladas en frío y para un presupuesto total de mezclas asfáltica en caliente S/ 9,152.63, alcanzado una reducción del 20.0%, para todo tipo de pavimentos urbanos de bajo volumen de tránsito.

En nuestra realidad peruana por la colocación de la mezcla asfáltica reciclada en frío y la mezcla asfáltica convencional en caliente, se efectuó el análisis con plantas fijas en la producción de las mezclas mencionadas, el cual declina tener menos costos con plantas móviles.

Figura 9

Comparación de Costos MARE/MAC



5.5 Contrastación de Hipótesis

5.5.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis Alterna (Hi1): Identificando los parámetros de control del ensayo por desempeño, se alcanzará la formulación de la mezcla asfáltica reciclada.

Hipótesis Nula (Ho1): Identificando los parámetros de control del ensayo por desempeño, no se alcanzará la formulación de la mezcla asfáltica reciclada.

Para obtener la formulación de la mezcla asfáltica reciclada requerida, es posible considerar diversos parámetros de control de los ensayos por desempeño, los cuales aportan alcanzar

la calidad y las características de la mezcla reciclada en frío, el mismo que depende de las exigencias y normativas propias de la región y/o entorno de influencia de los parámetros de control, estableciéndose las variables de temperatura, tiempo de curado y condiciones de saturación, demostramos el desempeño de la mezcla formulada favorable, con una susceptibilidad a la humedad superior (TSR 82.5%) al mínimo requerido (TSR 80.0%), bajo los parámetros de control establecidos para obtener la formulación de la mezcla y la evaluación mediante el ensayo por desempeño.

Por ende, Hi1 es válido.

5.5.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis Alternativa (Hi1): Al instaurarse el método de reciclaje, se conseguirá un nuevo tipo de asfaltado con las características propias de la mezcla asfáltica reciclada y costos.

Hipótesis Nula (Ho1): Al instaurarse el método de reciclaje, no se conseguirá un nuevo tipo de asfaltado con las características propias de la mezcla asfáltica reciclada y costos.

Al establecerse el método de reciclaje por la conformación de los pavimentos, será factible alcanzar mezclas asfálticas recicladas con características propias, el cual estarán sujetos a la reutilizar los materiales existentes y técnicas por su aplicación.

En referencia a los costos, el reciclaje aportará disminuir la eliminación de los materiales de desecho; en consecuencia, contribuirá minimizar el impacto ambiental, en relación a la producción de mezcla asfáltica convencional.

Por ende, Hi1 es válido.

5.5.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis Alterna (Hi1): Efectuada la evaluación por los costos de materiales e insumos empleados, se logrará la formulación de la mezcla asfáltica reciclada sostenible, para pavimento de bajo volumen de tránsito.

Hipótesis Nula (Ho1): Efectuada la evaluación de los costos de materiales e insumos empleados, no se lograra la formulación de la mezcla asfáltica reciclada sostenible, para pavimento de bajo volumen de tránsito.

El presente trabajo de investigación, involucra la evaluación de los costos de los materiales e insumos empleados, por la obtención de la mezcla asfáltica reciclada en frio, del cual se obtuvo un ahorro del 20%, con respecto a la mezcla convencional, teniendo la proyección de incrementar mayor ahorro con una producción masiva y tecnología de vanguardia.

Por ende, Hi1 es válido

DISCUSIÓN

Por la reutilización de los materiales fresado, proveniente de la carpeta de rodadura al haber cumplido su vida útil, se propone una mezcla asfáltica perdurable, del cual que se manifiesta en esta discusión algunos aspectos sobre la técnica del reciclaje.

Nuestra propuesta presenta desventajas, con respecto a la durabilidad y resistencia, en semejanza con las mezclas convencionales, del cuales se encuentran supeditadas por el desarrollo de la formulación de la mezcla y sus componentes convenientes, con el propósito de garantizar el rendimiento y/o una prolongad vida útil, sin embargo, es considerable su empleo específicamente para pavimentos con bajo volumen de tráfico, del mismo que justifica su aplicación.

Considerándose la técnica del reciclaje, como una opción económicamente viable y ambientalmente sostenible, para estos tipos de pavimentos de bajo volumen de tráfico, se indica que es dispensable efectuar mayores investigaciones en nuestro país, con el propósito de aplicar la técnica con eficacia, en gran escala a nuestra vasta vía sin pavimentar, alrededor del 80% del total de 95, 863 km aproximadamente.

Las limitaciones y disponibilidad en nuestra investigación experimental, marco una diferencia como son los parámetros de control, suficientemente no establecidos en nuestras especificaciones técnicas, en acorde a las condiciones climáticas, altitud y volumen de tráfico, del cual se sumó la disponibilidad de equipos de vanguardia, para efectuar los ensayos por desempeños en su integridad con las variables a considerar, ante las investigaciones experimentales efectuadas en le exterior, del mismo que se indica en nuestros antecedentes internacionales.

CONCLUSIONES

1. En nuestra investigación, por la formulación presentada de la mezcla asfáltica reciclada en frío, con el propósito de alcanzar una formulación de costo sostenible, se empleó emulsión asfáltica de rotura lenta con polímero tipo CSS 1hp (8.2%) y cemento portland tipo I (1.0%) como rejuvenecedores, por lo cual se consiguió un buen desempeño al daño por la humedad inducida (Lottman) con un TRS 82.5% >80.0%, el mismo que asegura atenuar los daños prematuros, ante la presencia de agua entre sus partículas; sin embargo se evidenció desprendimiento de daño visual en una escala de 3 por debajo de la escala 5, sin fracturación de alguna de partícula, el cual se observa desde las condiciones de los parámetros establecidos, para la formulación de mezcla asfáltica reciclada en frío de costos sostenible.
2. Estableciéndose la formulación propuesta del diseño de mezcla asfáltica reciclada al 100% en frío, se alcanza metodología de reciclaje como un nuevo tipo de asfaltado, el cual nos permite optimizar los recursos, como son los agregados vírgenes y cemento asfáltico en una manera significativa, alcanzando un ahorro energético y económico, tanto como es el cuidado del medio ambiente y disminución en la huella de carbono, por lo que es justificación del desarrollo en esta investigación, considerándose para un pavimento de bajo volumen de tránsito.
3. El análisis y/o evaluación de los precios unitarios por el reciclado, en relación a la mezcla asfáltica convencional, alcanzo una reducción del 20% de presupuesto total, para una colocación en 250 m², por lo mismo que se considera sostenible económicamente, con la tendencia de conseguir mayor reducción al implementarse equipos especial de vanguardia.
4. La proporción empleada y/o establecida del cemento portland 1.0% como filler, en la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, alcanzo la mejora con la “trabajabilidad y consistencia”, presentando una mezcla resistente e impermeable, del mismo que se justificó la proporción de su empleo al optimizar las propiedades, como es la adherencia y cohesión, por lo que se considera para mayores investigaciones, el uso proporcional entre 0.5 a 2.0%.

RECOMENDACIONES

1. Para los proyectos de rehabilitación de los pavimentos flexible de mayor volumen de tránsito, como son las autopistas concesionadas, es favorable promover el reaprovechamiento de materiales considerados como excedente (carpeta asfáltica fresada), por la protección del ecosistema y la inversión financiera, optimizando la relación de costo y beneficio.
2. Es conveniente por los proyectos de rehabilitación mencionado y vías urbanas de bajo volumen de tránsito, para todo tipo de pavimentos flexible con material reciclado, efectuar una evaluación del pavimento, en el cual se verifique el módulo elástico de la subrasante. empleándose herramientas de software, con la finalidad de consolidar la información mediante la evaluación, para así alcanzar una debida rehabilitación del pavimento y sostenibilidad.
3. Para pavimento de mayor volumen de tránsito, en el cual se prescinde mayor exigencia en el desempeño y servicio, es conveniente realizar el diseño de la mezcla asfáltica en frío, con un mayor contenido óptimo de asfalto residual de emulsión y filler, como rejuvenecedor de la mezcla, con el propósito de alcanzar mayor resistencia a la deformación permanente y a la fatiga, por el cual se promueve una amplia investigación.
4. Es importante destacar que las mezclas asfálticas recicladas en frío son más adecuadas para pavimentos de bajo volumen de tránsito, ya que pueden no ser tan duraderas como las mezclas convencionales en condiciones de alto tránsito y cargas pesadas. Por lo tanto, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de las condiciones de tránsito y evaluar las necesidades específicas de cada proyecto antes de optar por este tipo de mezclas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washintong, D.C.
- Ahumada Daza, N. (2021). *Evaluación de una mezcla asfáltica fría fabricada con altos contenidos de RAP mediante un tramo de prueba a escala real en la ciudad de Bogotá*. Bogotá, Colombia.
- Alharbi, F., & Alshubrumi, F. (2021). *Evaluación de la sostenibilidad del reciclaje en frío en el lugar y la mezcla en caliente Asfalto Pavimentos*. Qassim, Arabia Saudita.
- American Society for Testing and Materials ASTM D 6433-07. (2007). *Standard Practice for Roads and Parking Lots*. USA.
- Arámbula Mercado, E., Chavarro Muñoz, S. J., & Howie Mosley. (2020). *esempeño de Mezclas Recicladas en Caliente y en Frío con Alto Contenido de Pavimento Asfáltico Recuperado*. Florida, USA.
- ASOCEM. (2013). *Cemento: Léxico Básico. Boletín Técnico N° 93*. Lima, Perú.
- ASOCEM. (2013). *Cemento: Léxico Básico. Boletín Técnico N° 94*. Lima, Perú.
- ASSHTO, T. (2022). *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage*. USA.
- Astudillo, B. C. (2011). *Influencia de la granulometría y la dosificación en el fresado estabilizado con emulsión asfáltica*. Bogotá, Colombia.
- Ayala del Toro, Y. (2021). *Comportamiento mecánico de materiales asfálticos a deformación permanente*. Chihuahua, México.
- Baldi, A., & Elizondo Salas, A. L. (2022). *Implementación de la multiescala en la investigación de daño por humedad en mezclas asfálticas*. Costa Rica.
- Behar Rivero, D. (2008). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Shalom 2008.
- Bengoa, E. (2022). *Clases Maestria. Construcción de Carreteras, Mantenimiento y Rehabilitación MIV 402-URP*. Lima, Perú.
- Carhuaricra Alania, D. N., & Vela Rojas, J. (2022). *Propuesta de una guía para mejorar la deficiente gestión logística en proyectos de mejoramiento y conservación vial en vías nacionales*. Lima, Perú.
- Castro Cabeza, A. (2018). *Investigación sobre mezcla asfáltica en frío 100% reciclado*. Barranquilla, Colombia.
- Chavez Céspedes, M., & Fano Descalzi, J. C. (2017). *Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento portland para diferentes dosificaciones en el Proyecto de conservación vial de Huancavelica*. Lima, Perú.
- Corona Rojas, C. F. (2017). *Determinación de módulo de rigidez y caracterización de módulo dinámico de mezcla superpave*. Valparaíso - Chile.
- Escobar Orjuela, A. F. (2018). *Efecto de la dosificación y tiempo de curado de una emulsión asfáltica en una mezcla 100% RAP*. Bogotá. Colombia.

- Espinoza Juro, P., & Vildoso Flores, J. (2014). *Estudio de la técnica del reciclado con asfalto espumado en las carreteras la oroya – chicrín – Huánuco – tingo María – dv. Tocache y conococha – Yanacancha*. Lima, Perú.
- Fernández Collado, C., Pilar Baptista, L., & Hernández Sampieri, R. (s.f.). *Metodología de la Investigación*. 6a edición.
- Ferroti, G. (2020). *Comparación del comportamiento de curado en campo y laboratorio de mezclas asfálticas recicladas en frío para capas intermedias*. *Materiales*, 1-19.
- Forero Bernal, J. A. (2015). *Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento Asfáltico 80/100 modificado por vía húmeda con adición de corcho*. Bogotá, Colombia.
- García, V. K. (2022). *Revisión de literatura sobre el uso de asfalto flexible reciclado (RAP) como alternativa*. Villavicencio, Colombia.
- Guillermo Flores, J. G. (2022). *Cold asphalt mix with emulsion and 100% rap: Compaction energy and influence of emulsion and cement content*. España.
- International, A. (2012). *Standar Test Method for Determination of Draindown*. USA.
- Jara Trujillo, R. R., & Pèrez Paitàn, G. L. (2020). *Reutilización de pavimentos asfálticos reciclados en frío, como alternativa para la construcción de vías provisionales en asentamientos humanos en la ciudad de Lima – Perú*. Lima, Perú.
- Jaramillo, W. &. (2022). *Análisis comparativo del desempeño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado (RAP) utilizando emulsión asfáltica y emulsión asfáltica modificada con aceite de motor desechado de vehículos*. Quito, Ecuador.
- Loulizi, A.-Q. L. (2002). *Measurement of vertical compressive stress pulse in flexible pavements: representation for dynamic loading tests*.
- Méndez, A. (2015). *Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (rap) en vías colombianas*. Bogotá, Colombia.
- Menéndez, J. R. (2003). *Manual Técnico: Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas*. Lima, Lima, Perú.
- Mora, J. A. (2020). *Aprovechamiento de reciclado rap: para mejoramiento de las vías terciarias en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- MTC. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. El peruano*, p. 59. Lima, Perú.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción RD. N°22-2013-MTC/14*. Lima, Lima, Perú.
- MTC. (2018). *Obra: Servicio de la Conservación para la Recuperación y/o Reposición de la Infraestructura Vía: Paquete 9: Lima-Chosica - Puente Ricardo Palma y Mala - Calango - La Capilla-EMP PE-22 (Rio Blanco)*. Lima, Perú.
- Ñaupas, H. V. (2018). *Metodología de la investigación: Cuantitativa - Cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá, Colombia.
- Orosa, P. I. (2021). *Compaction and volumetric analysis of cold in-place recycled asphalt mixtures prepared using gyratory, static, and impact procedures*. Coruña, España.

- Oscar, D. &. (2021). *Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas con 100% RAP y adición de cal hidratada*. Bogotá, Colombia.
- Paccori, F. (2018). *Propuesta técnica de aplicación del pavimento flexible reciclado para rehabilitación vial - Pachacamac*. . Lima, Perú.
- Pineda, K. H. (2018). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el pavimento de vías de la región de Puno. Juliaca*. Lima, Perú.
- Raab, C. &. (2020). *Evaluación de laboratorio y construcción de asfalto de baja temperatura totalmente reciclado para carreteras de bajo volumen. Advances in Materials Science and Engineering*. Suiza.
- Rengifo, J. &. (2017). *Tesis de grado: Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1-29 de la avenida La Paz San Miguel – Lima*. Lima, Perú.
- Saldaña, A. &. (2020). *La influencia del RAP en la resistencia estructural de un pavimento reciclado en frío para el proyecto de conservación vial de la carretera binacional Mazocruz - Puente Internacional*. Mazocruz, Perú.
- Salgado, A. (2007). *Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos*. . Lima, Perú.
- Tapia, D. (2020). *Diseño de mezclas en frío con pavimento reciclado para el mantenimiento vial de la Av. Cadenas, Cajamarquilla, Lurigancho, Lima 2020*. Lima, Perú.
- Thenoux Z., G. &. (2001). *Revista Ingeniería de Construcción Volumen 16 N° 1, 13. "Estudio de técnicas de reciclado en frío"*. . Chile.
- Vargas Villaca, M. A., & Rengifo Gonzales, j. (2017). *Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado*. Lima, Perú.
- Villa Chaman, V. M. (2007). *Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas*. Lima, Perú.
- Villar Gallardo, E. A., Balbin Archi, R., & Chochon Gomez, V. H. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima 2019*. Lima, Perú.
- Wirteng, G. (2004). *Manual de reciclado en frío*. . USA.

Anexo 01: Caracterización de la matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>Problema General:</p> <p>¿De qué manera una mezcla asfáltica recicladas en frío, reduce los costos en el pavimento de bajo volumen de tránsito?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Diseñar mezclas asfálticas recicladas en frío, para reducir los costos en pavimentos de bajo volumen de tránsito, según la metodología de ensayos y/o procedimiento AASHTO y ASTM</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>Estableciéndose la mezcla asfáltica reciclada, se obtendrá la optimización de los costos para el pavimento de bajo volumen de tránsito.</p>	<p>Independiente:</p> <p>Formulación del diseño de mezcla reciclado en frío</p> <p>Dependiente</p> <p>Optimización del costo, según la formulación y análisis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades físicas y mecánicas de a mezcla asfáltica reciclada formulada - Características de los materiales empleados en la formulación. - Análisis de Costos Unitarios. - Tiempo del proceso de conformación para el pavimento de bajo volumen de tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> - Método de investigación Método deductivo - Tipo de investigación Descriptiva, Explicativa y Correlacional. - Enfoque de la investigación Cuantitativo cualitativo - Nivel de la investigación Nivel relacional - Diseño de la investigación Investigación i experimental. - Instrumento de recolección de datos Investigación retro lectiva - Orientación de investigación Aplicada - Población Diseño de la mezcla asfálticas en frío empleándose emulsión asfáltica y cemento portland, con la debida saturación de agua - Muestra Por la formulación del diseño en mención se efectuarán 50 ensayos físico mecánico
<p>Problema Especifico 1:</p> <p>¿De qué forma los parámetros de control influye, en la mezcla asfáltica reciclada para alcanzar un costo sostenible?</p>	<p>Objetivo Especifico 1:</p> <p>Evaluar mediante los parámetros de control la mezcla formulada, para obtener una mezcla asfáltica reciclada de costo sostenible.</p>	<p>Hipótesis Especifica 1:</p> <p>Identificando los parámetros de control, se establecerá la formulación de una mezcla asfáltica reciclada.</p>			
<p>Problema Especifico 2:</p> <p>¿Cómo afecta la incorporación del agente reciclador, en los pavimentos de bajo volumen de tránsito?</p>	<p>Objetivo Especifico 2:</p> <p>Incorporar la metodología de reciclaje en pavimento de bajo volumen de tránsito, para un nuevo tipo de asfaltado que obtenga flexibilidad, durabilidad y menor costo.</p>	<p>Hipótesis Especifica 2:</p> <p>Estableciéndose el método de reciclaje, se alcanzará un nuevo tipo de asfaltado con las características propias de la mezcla asfáltica reciclada y costo.</p>			
<p>Problema Especifico 3:</p> <p>¿Cómo interviene la evaluación de los materiales e insumos empleados, en la mezcla asfáltica reciclada formulada?</p>	<p>Objetivo Especifico 3:</p> <p>Evaluar los costos de los materiales e insumos empleados en la formulación de la mezcla asfáltica reciclada, para alcanzar una formulación de mezcla asfáltica reciclada factible.</p>	<p>Hipótesis Especifica 3:</p> <p>Efectuándose la evaluación de los materiales e insumos empleados, se alcanzará formulación de la mezcla asfáltica reciclada para pavimento de bajo volumen de tránsito.</p>			

Anexo 02: Resultados de ensayos físico mecánicos

Lemit S.A.C.

**Laboratorio de Ensayos de
Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.**

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976



EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL BITUMEN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

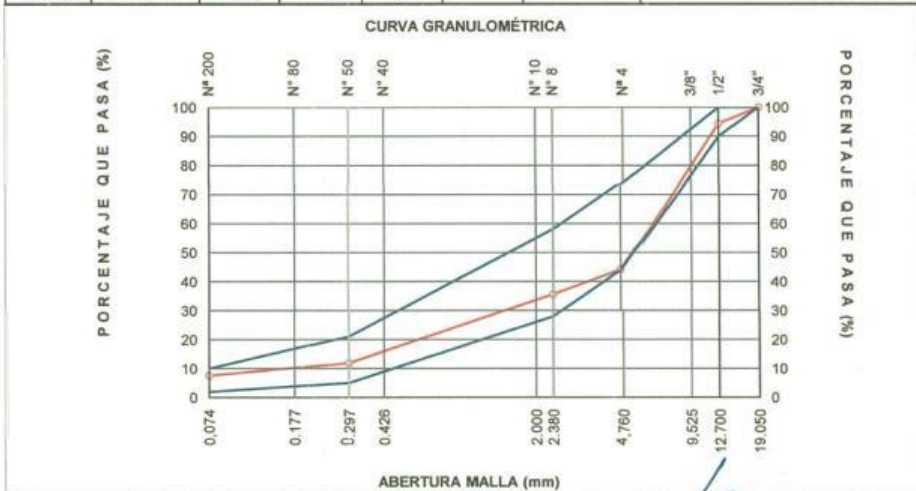
NORMA MTC E 502 / ASTM D 2172

Pág 01 de 15

SOLICITA BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI
 PROYECTO TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO
 MATERIAL CARPETA ASFÁLTICA FRESADA MUESTRA : 01
 FECHA : 24/04/2023

Ensayo de extracción cuantitativa de bitumen :

MALLAS SERIE AMERICANA		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				Especificación Técnica ASTM D 3515		Descripción Mezcla Asfáltica
Pulgada	mm.	Peso, g	% Retiene	% Acum.	% Pasa			
3/4"	19.050				100.0	100	100	Cálculos.
1/2"	12.700	102.0	5.6	5.6	94.4	90	100	Peso Total Mezcla. 1,898.7 g
3/8"	9.525	112.0	6.1	11.7	88.3			Peso Filtro (antes). 21.2 g
1/4"	6.350	-	-	11.7	88.3			Peso Filtro (después). 22.9 g
N° 4	4.760	805.0	44.2	55.9	44.1	44	74	Peso Lavado Reactivo. 1,821.5 g
N° 6	3.360			55.9	44.1			Peso Asfalto Residual. 75.5 g
N° 8	2.380	155.0	8.5	64.4	35.6	28	58	Porcentaje Asfalto. 3.98 %
N° 10	2.000	-	-	64.4	35.6			Peso Total Agregado. 1,823.2 g
N° 16	1.190	255.0	14.0	78.4	21.6			Temperatura. 153.0 °C
N° 20	0.840	-	-	78.4	21.6			Peso Lavado M -200. 1,685.1 g
N° 30	0.590	109.4	6.0	84.4	15.6			Fino Malla 200. 138.1 g
N° 40	0.426	-	-	84.4	15.6			
N° 50	0.297	67.4	3.7	88.1	11.9	5	21	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	-	-	88.1	11.9			Agregado Grueso. 55.9 %
N° 100	0.149	44.2	2.4	90.5	9.5			Agregado Fino. 44.1 %
N° 200	0.074	35.1	1.9	92.4	7.6	2	10	Fino Malla 200. 7.6 %
N° < 200	-	138.1	5.4	97.8				



Nota: Muestra representativa de la población de mezcla asfáltica fresada.

TIBSO ARENAS URQUIZO
 ING. CONTROL DE CALIDAD
 CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL BITUMEN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

NORMA MTC E 502 / ASTM D 2172

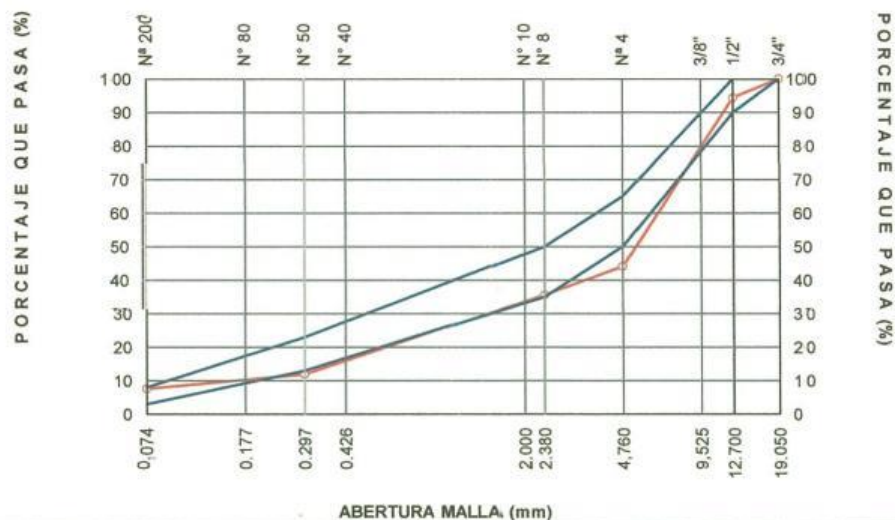
Pág 02 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA	MUESTRA :	01
		FECHA :	24/04/2023

Ensayo de extracción cuantitativa de bitumen :

MALLAS SERIE AMERICANA		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				Especificación Técnica		Descripción Mezcla Asfáltica
Pulgada	mm.	Peso, g	% Retiene	% Acum.	% Pasa	MDF- 3		
3/4"	19.050				100.0	100		Cálculos.
1/2"	12.700	102.0	5.6	5.6	94.4	90	100	Peso Total Mezcla. 1,898.7 g
3/8"	9.525	112.0	6.1	11.7	88.3			Peso Filtro (antes). 21.2 g
1/4"	6.350	-	-	11.7	88.3			Peso Filtro (despues). 22.9 g
N° 4	4.760	805.0	44.2	55.9	44.1	50	65	Peso Lavado Reactivo. 1,821.5 g
N° 6	3.360	-	-	55.9	44.1			Peso Asfalto Residual. 75.5 g
N° 8	2.380	155.0	8.5	64.4	35.6	35	50	Porcentaje Asfalto. 3.98 %
N° 10	2.000	-	-	64.4	35.6			Peso Total Agregado. 1,823.2 g
N° 16	1.190	255.0	14.0	78.4	21.6			Temperatura. 153.0 °C
N° 20	0.840	-	-	78.4	21.6			Peso Lavado M -200. 1,685.1 g
N° 30	0.590	109.4	6.0	84.4	15.6			Fino Malla 200. 138.1 g
N° 40	0.426	-	-	84.4	15.6			
N° 50	0.297	67.4	3.7	88.1	11.9	13	23	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	-	-	88.1	11.9			Agregado Grueso. 55.9 %
N° 100	0.149	44.2	2.4	90.5	9.5			Agregado Fino. 44.1 %
N° 200	0.074	35.1	1.9	92.4	7.6	3	8	Fino Malla 200. 7.6 %
N° <200	-	138.1	5.4	97.8				

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota: Contenido de cemento asfáltico 3.98%, en peso de la mezcla.

Tirso Arenas Urquiza
TIRSO ARENAS URQUIZO
 ING. CONTROL DE CALIDAD
 CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

GRADACIÓN SUPERPAVE - TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO 19.0 mm.

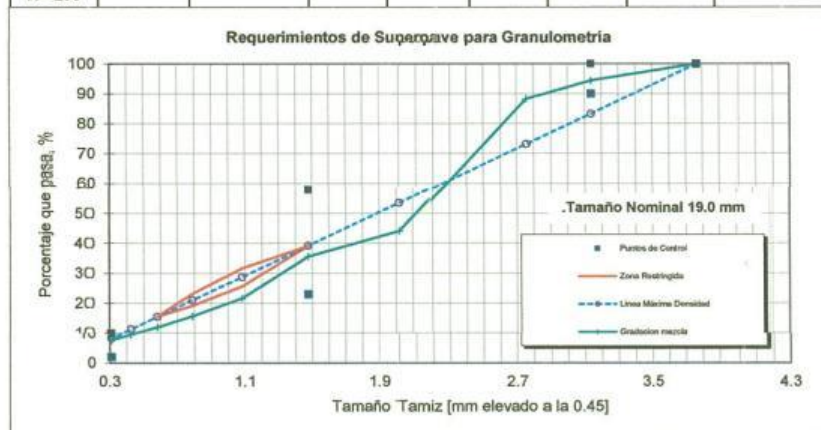
NORMA MTC E 204 / ASTM C 136 / AASHTO T 28

Pág 03 de 15

SOLICITA	BACH. JÜRGE ROMERO PUMAYALI
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA
	MUESTRA : 01
	FECHA : 24/04/2023

Gradación para mezcla superpave

Descripción			Tamaño Nominal 19.0 mm.				Curva del Diseño Mezcla
Pulgada	mm.	Tamiz mm. a Potencia 0.45	Puntos de Control		Zona Restringida		
					Mínimo	Máximo	
1"	25.400	4.287					
3/4"	19.050	3.767	100	100			100.0
1/2"	12.700	3.138	90	100			83.3
3/8"	9.525	2.757					73.2
1/4"	6.350	2.297					
Nº 4	4.760	2.018					53.6
Nº 8	2.380	1.477	23	56	39.1	39.1	39.2
Nº 10	2.000	1.366					
Nº 16	1.190	1.081			25.6	31.6	28.7
Nº 20	0.840	0.925					
Nº 30	0.590	0.789			19.1	23.1	20.9
Nº 40	0.420	0.677					
Nº 50	0.298	0.580			15.5	15.5	15.4
Nº 80	0.177	0.459					
Nº 100	0.149	0.425					11.3
Nº 200	0.074	0.310	2	10			8.2
Nº <200							7.6



Nota.

Análisis granulométrico de la muestra representativa.

TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



**Laboratorio de Ensayos de
Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.**

ENSAYOS – LABORATORIO – IMPORTACIONES – VENTAS – SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

MÉTODO ABSORCIÓN RECUPERACIÓN DE ASFALTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

NORMA ASTM D 1856 - 95

Pág 04 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA CON EMULSIÓN Y CEMENTO PORTLAND	MUESTRA :	01
		FECHA :	25/04/2023

Ensayos realizado a la muestra de asfalto recuperado

Descripción de ensayo	Norma	Resultado
Penetración, 25°C, 100g, 5seg, 0.1mm,	ASTM D 5	15.0
Punto de Ablandamiento, °C	ASTM D 2171	84.0
Viscosidad absoluta, 60°C, 300mmhg, poise	ASTM D.36	51,735.0

Nota

(*) Evaluación visual al desprendimiento


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS
 Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel
 Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

CONTENIDO ÓPTIMO DE COMPACTACIÓN

MÉTODO ILLINOIS

Pág 05 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI	
PROYECTO	TESIS DE GRADO: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	MUESTRA: 01
MATERIAL	MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA CON EMULSIÓN Y CEMENTO PORTLAND	FECHA: 25/04/2023

Cálculo de l contenido óptimo de humedad para compactación

Briqueta	% humedad compactación añadida (a)	Peso briqueta fallada húmeda, g (b)	Peso briqueta seca, g (c)	Peso de briqueta, g (d)	% Peso de compactación fallada, g (e)	% Pérdida por compactación y curado (f)	Altura briqueta, mm	Factor de corrección	Estabilidad, kgf.		
									Carga	Corregida	Promedio
01	3.0	1,166.0	1,166.0	1,147.6	0.00	3.00	64.5	0.96	500.0	480.0	483.8
02		1,148.0	1,148.0	1,129.9	0.00	3.00	64.5	0.96	509.0	488.6	
03		1,136.0	1,136.0	1,118.1	0.00	3.00	63.9	0.96	503.0	482.9	
04	4.0	1,163.0	1,163.0	1,144.7	0.00	4.00	63.5	0.96	530.0	508.8	509.1
05		1,157.0	1,157.0	1,138.8	0.00	4.00	63.6	0.96	533.0	511.7	
06		1,170.0	1,170.0	1,151.6	0.00	4.00	64.2	0.96	528.0	506.9	
07	5.0	1,168.0	1,168.0	1,149.6	0.00	5.00	64.2	0.96	536.0	514.6	516.5
08		1,154.0	1,154.0	1,135.8	0.00	5.00	64.3	0.96	535.0	513.6	
09		1,165.0	1,165.0	1,146.7	0.00	5.00	64.4	0.96	543.0	521.3	
10	6.0	1,142.0	1,142.0	1,124.0	0.00	6.00	64.4	0.96	540.0	518.4	511.4
11		1,137.0	1,137.0	1,119.1	0.00	6.00	64.8	0.96	530.0	508.8	
12		1,151.0	1,151.0	1,132.9	0.00	6.00	64.8	0.96	528.0	506.9	

Nota:

Peso específico del agregado G = 1.600 g/cm³

Componentes:

1.0 Carpeta Asfáltica Fresada [en peso de la mezcla asfáltica total]	100.0 %
2.0 Contenido de Emulsión asfáltica teorica [en peso de la mezcla asfáltica total]	8.5 %
3.0 Cemento Portland Tipo I [en peso de la mezcla asfáltica total]	1.0 %

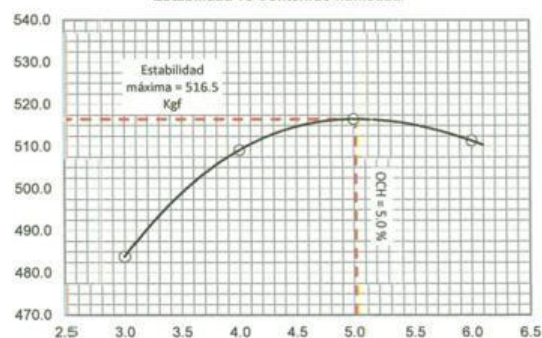
Cálculo:

$$d = c \times 100 / (100 + G)$$

$$e = (b - c) / (d/100)$$

$$f = a - e$$

Estabilidad vs Contenido humedad



[Signature]
 TIRSO ARENAS URQUIZO
 ING. CONTROL DE CALIDAD
 CIP 18795

Lemit S.A.C.



**Laboratorio de Ensayos de
Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.**

ENSAYOS – LABORATORIO – IMPORTACIONES – VENTAS – SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA MTC E 108 / ASTM D 2974 / NTP 339.127

Pág 06 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
		MUESTRA :	01
MATERIAL	EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ROTURA LENTA CON POLÍMERO. TIPO CSS 1hp	FECHA :	25/04/2023

Ensayo Contenido de humedad

Descripción	Resultado
Cápsula N°	01
Peso suelo húmedo + cápsula inicial, g.	1049.6
Peso suelo seco + cápsula final, g.	785.9
Peso contenido de humedad, g.	263.7
Peso cápsula, g.	125.0
Contenido de humedad, %.	39.90

Nota

Se obtiene por diferencia el asfalto residual de la emulsión 60.1%


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIR 18795

Lemit S.A.C.



**Laboratorio de Ensayos de
Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.**

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - GRUESO

NORMA MTC E 206 / NTP 400.021

Página 07 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
UBICACIÓN	EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ROTURA LENTA CON POLÍMERO. TIPO CSS 1hp	MUESTRA :	01
		FECHA :	27/04/2023

Ensayo Gravedad Específica y Absorción

Descripción	Resultado
A. Peso material saturado superficialmente seca(aire), g.	1936.7
B. Peso material seco, g.	1909.1
C. Peso material saturado superficialmente seca(agua), g.	1116.0
D. Volumen de masa + volumen de vacíos $D=A-C$, cm^3 .	820.7
E. Volumen de masa $E=C-(A-D)$, cm^3 .	793.1
P.E bulk (base seca) = D/C , g/cm^3	2.326
P.E bulk (base saturada) = A/C , g/cm^3	2.360
P.E Aparente (base seca) = D/E , g/cm^3	2.407
% Absorción = $(A-D)/D \times 100$	1.45

Nota :


 TIRSO ARENAS URQUIZO
 ING. CONTROL DE CALIDAD
 CIR 16795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

AASHTO T 245 / ASTM D 1559

Página 08 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
MATERIAL	MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA CON EMULSIÓN Y CEMENTO PORTLAND	MUESTRA :	01
		FECHA :	27/04/2023

Ensayo Peso Específico Máximo

Componentes:

Carpeta Asfáltica Fresada	100.0 %
[en peso de la mezcla asfáltica total]	
Emulsión Asfáltica modificada con Polímero CSS-1hp	variable
[en peso de la mezcla asfáltica total]	
Cemento Portland Tipo I	1.0 %
[en peso de la mezcla asfáltica total]	

Cálculos

Identificación muestra	01	02	03	04
Asfalto residual de la emulsión asfáltica, %.	3.0	4.0	5.0	6.0
1.- Peso del material, g	1,600.0	1,600.0	1,600.0	1,600.0
2.- Peso agua + frasco, g	6,782.0	6,782.0	6,782.0	6,782.0
3.- Peso agua + frasco + material [1 + 2], g.	8,382.0	8,382.0	8,382.0	8,382.0
4.- Peso agua + frasco + material (ensayo), g.	7,724.0	7,716.0	7,705.0	7,696.0
5.- Volumen [3 - 4], g	658.0	666.0	677.0	686.0
Peso Específico Máximo MARE, g/cm ³	2.432	2.402	2.363	2.332

Nota:

La emulsión asfáltica presenta un asfalto residual de 60.1.0%


 TIRSO ARENAS URQUIZO
 ING. CONTROL DE CALIDAD
 CIP 18795

Lemit S.A.C.

Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS – LABORATORIO – IMPORTACIONES – VENTAS – SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976



DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

MÉTODO ILLINOIS

Pág 09 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER	MUESTRA :	01
		FECHA :	7/05/2023

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	5.0 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	3.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.0	Gravedad específica aparente (C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	8.3	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado		
	I	II	III	IV	V	VI
Densidad Bulk						
1 Peso de la probeta en aire (D), g.	999.0	995.0	995.0	1,083.0	1,089.1	1,086.7
2 Peso de la probeta en agua (E), g.	511.0	510.5	508.0	589.0	576.0	570.0
3 Peso de la probeta SSD (F), g	1010.0	1015.0	1012.0	1,115.4	1,104.4	1,097.1
4 Volumen por desplazamiento, cm ³	499.0	504.5	504.0	526.4	528.4	527.1
5 Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,002.0	1,972.2	1,974.2	2,057.4	2,061.1	2,061.7
6 Densidad Seca Bulk, kg/m ³	1,986.2	1,914.6	1,962.9			
7 Espesor, mm.	64.0	65.2	64.0	65.0	64.5	64.0

Estabilidad (22.2 °C)							
1	Estabilidad, Kg-f	883.1	946.0	781.3	377.5	485.3	367.8
2	Factor de corrección	1.04	1.04	1.04	0.96	0.96	0.96
3	Estabilidad corregida, Kg-f.	918	984	813	362	466	353
4	Flujo, mm.	3.5	3.2	3.6	5.7	4.9	4.7

Contenido de humedad							
1	Peso de la muestra húmeda (H), g.	1012.0	1031.0	1009.0	1128.0	1135.1	1134.7
2	Peso de la muestra seca (I),g.	994.0	985.0	987.0	1058.0	1061.1	1064.7
3	Tara (J), g.	115.7	121.7	120.0	121.6	148.0	125.0
4	Contenido de humedad (K), %	0.82	3.10	0.59	4.14	6.62	6.53
5	Humedad absorbida, %					4.3	

Características							
1	Máximo total de vacíos, %.	12.67	15.82	13.69			
2	Vacíos de aire, %.	11.08	10.05	12.56			
3	V. M. A. %.	18.4	21.3	19.4			
4	% Pérdida de estabilidad		56.5				


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



**Laboratorio de Ensayos de
Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.**

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

MÉTODO ILLINOIS

Pág 10 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO		
	VOLUMEN DE TRÁNSITO	MUESTRA :	01
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER	FECHA :	7/05/2023

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	6.7 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	4.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.00	Gravedad específica aparente (°C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	9.4	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %.	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado		
	K	M	O	J	L	N
Densidad Bulk						
1 Peso de la probeta en aire (D), g.	1,070.0	1,072.2	1,072.7	1,063.0	1,035.7	1,069.4
2 Peso de la probeta en agua (E), g.	566.4	571.0	550.0	566.4	566.0	569.0
3 Peso de la probeta SSD (F), g	1,096.8	1,099.1	1,084.9	1,098.8	1,066.1	1,086.9
4 Volumen por desplazamiento, cm ³	530.4	528.1	534.9	532.4	500.1	517.9
5 Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,017.3	2,030.3	2,005.4	1,996.6	2,071.0	2,064.9
6 Densidad Seca Bulk, kg/m ³	1,995.6	2,020.2	1,993.2			
7 Espesor, mm.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
	2,003.0					

Estabilidad (22.2 °C)						
1 Estabilidad, Kg-f	723.0	710.2	685.8	500.9	483.9	470.0
2 Factor de corrección	0.96	0.96	0.96	0.96	1.04	1.00
3 Estabilidad corregida, Kg-f.	694	682	658	481	503	470
4 Flujo, mm.	6.1	4.8	4.1	6.1	5.9	4.7

Contenido de humedad						
1 Peso de la muestra húmeda (H), g.	1092.0	1085.2	1082.7	1108.0	1070.7	1109.4
2 Peso de la muestra seca (I),g.	1055.0	1054.0	1064.7	1039.0	1015.7	1054.4
3 Tara (J), g.	120.0	195.0	121.7	123.8	268.0	121.7
4 Contenido de humedad (K), %	1.13	0.52	0.64	3.77	3.42	4.18
5 Humedad absorbida, %					3.0	

Características						
1 Máximo total de vacíos, %.	11.20	10.10	11.31			
2 Vacíos de aire, %.	9.02	9.09	10.08			
3 V. M. A. %.	18.8	17.8	18.9			
4 % Pérdida de estabilidad		28.5				


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS
Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel
Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

MÉTODO ILLINOIS

Pág 11 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER	MUESTRA :	01
		FECHA :	7/05/2023

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	12.02.0 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	5.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.00	Gravedad específica aparente (C)	: 2,36 3.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	803.0	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado		
	X	XI	XV	XII	XIII	XIV
Densidad Bulk						
1 Peso de la probeta en aire (D), g.	1,058.5	1,062.4	1,060.5	1,047.4	1,062.1	1,045.3
2 Peso de la probeta en agua (E), g.	558.0	558.0	560.0	550.0	556.0	552.0
3 Peso de la probeta SSD (F), g	1,080.0	1,080.6	1,082.7	1,076.3	1,091.1	1,077.2
4 Volumen por desplazamiento, cm ³	522.0	522.6	522.7	526.3	535.1	525.2
5 Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,027.8	2,032.9	2,028.9	1,990.1	1,984.9	1,990.3
6 Densidad Seca Bulk, kg/m ³	2,015.9	2,011.1	2,022.8			
7 Espesor, mm.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

Estabilidad (22.2 °C)							
1	Estabilidad, Kg-f	553.4	546.0	551.3	502.5	487.9	478.6
2	Factor de corrección	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	0.96
3	Estabilidad corregida, Kg-f.	553	546	551	482	468	459
4	Flujo, mm.	5.0	4.7	4.9	4.6	3.5	5.1

Contenido de humedad							
1	Peso de la muestra húmeda (H), g.	1073.5	1080.4	1078.5	1083.4	1098.1	1083.3
2	Peso de la muestra seca (I),g.	1046.5	1052.4	1053.5	1030.4	1047.1	1029.3
3	Tara (J), g.	115.7	150.6	120.0	158.0	183.7	176.8
4	Contenido de humedad (K), %	0.62	1.14	0.31	2.90	2.68	2.72
5	Humedad absorbida, %					2.1	

Características							
1	Máximo total de vacíos, %.	9.25	9.46	8.94			
2	Vacíos de aire, %.	8.06	7.28	8.33			
3	V. M. A. %.	18.8	18.9	18.5			
4	% Pérdida de estabilidad		14.6				


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

MÉTODO ILLINOIS

Pág 12 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER	MUESTRA :	01
		FECHA :	7/05/2023

Emulsión		Composición	
Tipo Emulsión asfáltica catiónica	CSS-1hp	Material 01 : Carpeta asfáltica fresada, %	100.0 %
Residuo asfáltico en la emulsión, %	60.1	Material 02 : Emulsión asfáltica, %	10.0 %
Asfalto residual en la mezcla (A), %	6.0	Material 03 : Cemento Portland Tipo I, %	1.0 %
Gravedad específica del asfalto (B), kg/m ³	1010.00	Gravedad específica aparente (°C)	: 2,363.0 kg/m ³

Mezcla y compactación		Fechas	
Agua total en la mezcla, %	11.6	Inicio de ensayo	28/04/2023
Agua de adición a la mezcla, %.	5.0	Fin de ensayo	05/05/2023
Agua de compactación, %	5.0	Reporte de ensayo	07/05/2023

Descripción	Seco			Saturado		
	1A	1B	1C	1	1D	1E
Densidad Bulk						
1 Peso de la probeta en aire (D), g.	1,043.6	1,010.9	1,014.8	1,031.5	1,020.8	1,028.1
2 Peso de la probeta en agua (E), g.	544.0	536.0	537.0	551.0	543.0	541.0
3 Peso de la probeta SSD (F), g	1,062.4	1,033.4	1,041.4	1,068.2	1,049.9	1,069.9
4 Volumen por desplazamiento, cm ³	518.4	497.4	504.4	517.2	506.9	528.9
5 Densidad Bulk (G), kg/m ³	2,013.1	2,032.4	2,011.9	1,994.4	2,013.8	1,943.8
6 Densidad Seca Bulk, kg/m ³	1,994.6	2,007.5	2,011.0			
7 Espesor, mm.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

Estabilidad (22.2 °C)							
1	Estabilidad, Kg-f	508.1	437.1	486.3	395.2	379.3	380.9
2	Factor de corrección	1.00	1.04	1.04	1.00	1.04	0.96
3	Estabilidad corregida, Kg-f.	508	455	506	395	394	366
4	Flujo, mm.	5.1	4.3	4.3	4.9	4.6	4.5

Contenido de humedad							
1	Peso de la muestra húmeda (H), g.	1061.6	1028.9	1031.8	1069.5	1054.8	1068.1
2	Peso de la muestra seca (I),g.	1034.6	995.9	1004.8	1018.5	1010.8	1015.1
3	Tara (J), g.	151.4	150.0	147.5	205.0	182.7	182.7
4	Contenido de humedad (K), %	0.98	1.32	0.05	1.86	1.91	1.43
5	Humedad absorbida, %					0.95	

Características							
1	Máximo total de vacíos, %.	9.19	8.60	8.45			
2	Vacíos de aire, %.	7.34	6.11	8.35			
3	V. M. A. %.	20.4	19.9	19.7			
4	% Pérdida de estabilidad		21.3				


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

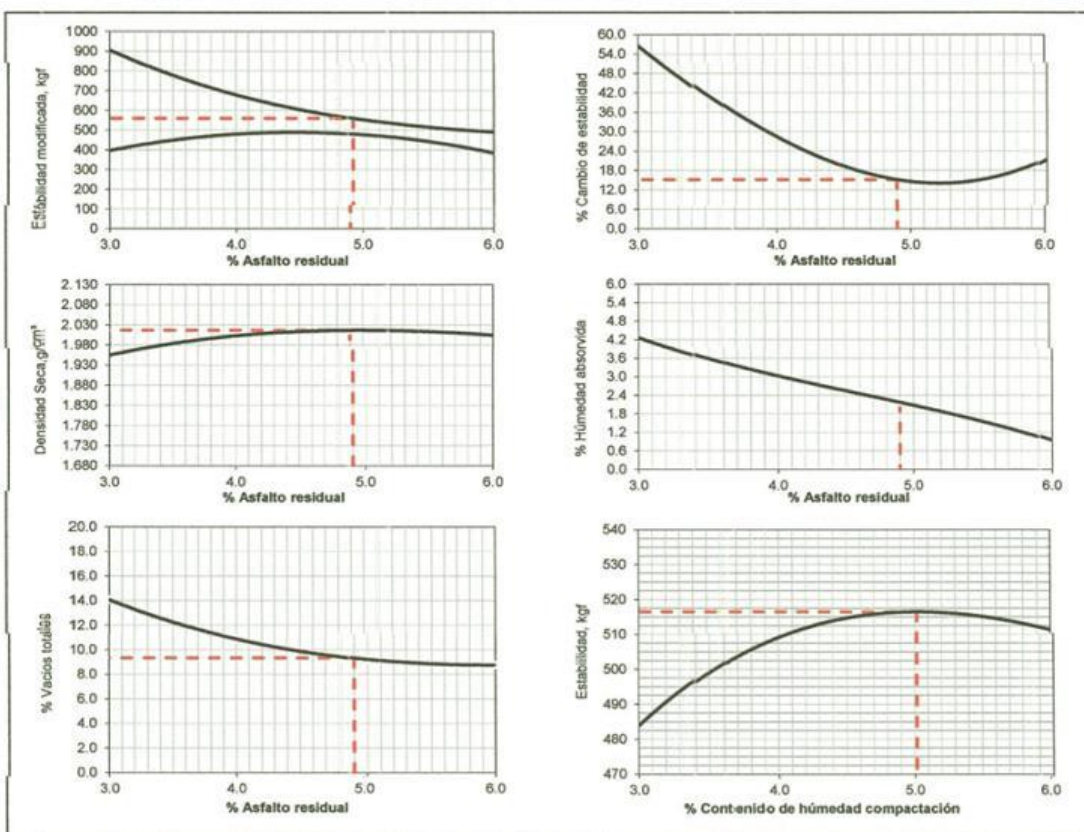
Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

MÉTODO ILLINOIS

Pág 13 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER
	MUESTRA : 01
	FECHA : 07/05/23



Curva Granulométrica ASTM D 3515		Características Mezcla Asfáltica			
Porcentaje que pasa, %		Número de Golpes	75		
		% Emulsión asfáltica	7.8	8.2	8.5
		% Asfalto residual	4.7	4.9	5.1
		Densidad seca bulk, g/cm³	2.016	2.017	2.016
		Estabilidad modificada seca, kgf.	483.5	475.3	464.2
		Estabilidad modificada húmeda, kgf.	580.1	559.5	541.7
		Cambios de estabilidad, %	16.9	15.1	14.2
		Vacios totales, %	9.6	9.3	9.1
		Húmedad absorbida, %	2.4	2.2	2.0
		Recubrimiento, %		100	
		Desprendimiento, % retenido		+95	
		Contenido de agua de pre-mezcla, %	8.5	8.5	8.5
		Contenido humedad com pactación, %	5.0	5.0	5.0

TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS – LABORATORIO – IMPORTACIONES – VENTAS – SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel

Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

MÉTODO ILLINOIS

Pág 14 de 15

SOLICITA	BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI		
PROYECTO	TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS		
	EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	MUESTRA :	01
MATERIAL	CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER	FECHA :	7/05/2023

1.0 Mezcla de agregados (porcentaje en peso)

% Carpeta Asfáltica fresada	: 100.0
% Cemento Portland Tipo I	: 1.0
Gradación	: Pavimento de concreto asfáltico en frío (EG-2013)
	: Sección 42ª (Gradación MDF-3)

2.0 Material Bituminoso

Tipo de emulsión asfáltica	: CSS - 1hp
% Residuo asfáltico en la emulsión	: 60.1
% Óptimo de emulsión asfáltica	: 8.2
% Óptimo de asfalto residual	: 4.9

3.0 Agua

% de humedad natural	: 0.5
% de agua en la emulsión	: 3.1
% de agua de pre- mezcla	: 8.5
% de agua de compactación	: 5.0

4.0 Característica Marshall Modificado

Número de golpes		50	
% Emulsión asfáltica (en peso de los agregados)	7.8	8.2	8.5
% Asfalto residual (en peso de los agregados)	4.7	4.9	5.1
Densidad seca bulk, g/cm³.	2.016	2.017	2.016
Estabilidad modificada seca, kg.	483.5	475.3	464.2
Estabilidad modificada húmeda, kg.	580.1	559.5	541.7
Cambios de estabilidad, %.	16.9	15.1	14.2
Vacios totales, %	9.6	9.3	9.1
Humedad absorbida, %	2.4	2.2	2.0
Revestimiento, %		100.0	
Desprendimiento, % retenido	--	+95	--

5.0.- Temperatura de aplicación, (°C)

Temperatura de agregados, min.	22.2 °C
Temperatura de emulsión asfáltica, min.	22.2 °C


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Lemit S.A.C.



Laboratorio de Ensayos de Materiales e Investigación Tecnológica S.A.C.

ENSAYOS - LABORATORIO - IMPORTACIONES - VENTAS - SERVICIOS

Prolong. Ayacucho 448 - 301 - San Miguel
Telef.: 995 755 545 - 692 8023 - 999 701 976

DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

METODO ILLINOIS

Pág 15 de 15

SOLICITA BACH. JORGE ROMERO PUMAYALI
PROYECTO TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO MUESTRA : 01
MATERIAL CARPETA ASFÁLTICA FRESADA / EMULSIÓN ASFÁLTICA / FILLER FECHA : 14/05/23

Descripción		Condición seca 25 °C			Condición húmeda 25 °C		
Muestra	Dato	1	1A	1B	1C	1D	1E
Diámetro, mm	D	101.0	101.0	100.0	101.0	101.0	101.0
Espesor (altura), mm	t	68.0	67.5	68.0	66.0	66.0	66.0
Masa seca en aire, g	A	1056.7	1040.6	1059.0	1056.1	1020.4	1033.8
Masa muestra saturada Sup. Seca, g	B	1083.6	1066.9	1086.2	1083.1	1044.4	1059.7
Masa en agua, g	C	560.9	552.0	571.0	562.0	541.0	552.0
Volumen, cm ³ , (B - C)	E	522.7	514.9	515.2	521.1	503.4	507.7
Bulk Graved ad específica (A / E)	F	2.022	2.021	2.056	2.027	2.027	2.036
Máx. Sp. Gravedad específica	G	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360	2.360
% Vacío 100 x (G-F) / G	H	14.3	14.4	12.9	14.1	14.1	13.7
Volumen del vacío de aire (HE/100)	I	74.9	74.0	66.5	73.6	71.0	69.6
Lectura del dial de carga	p	196.7	187.2	192.0			
Factor de corrección		1.00	1.00	1.00			
Carga (lbf)	P	433.6	412.7	423.3			

Saturado mín. @ kPa ó mm hg (pulg. hg) a 20pulg.hg.

Masa muestra saturada superficie seca, g	B'				1108.3	1072.0	1084.0
Masa en agua, g	C'				576.0	557.0	567.0
Volumen (B'-C'), cm ³	E'				532.3	515.0	517.0
Volumen absorbido agua (B'-A)	J'				52.2	51.6	50.2
% Saturación (100J'/I)					70.9	72.6	72.1
Hinchamiento (100 x (E'-E)/E), %					2.15	2.30	1.83

Condicionado 24 h a 25°C agua

Condicionado 16h a -18°C ± 3°C

Espesor mm (pulg)	T''				68.0	66.0	66.0
Masa muestra saturada superficie seca, g	B''				1089.0	1055.0	1077.4
Masa en agua	C''				578.0	561.0	567.0
Volumen (B''-C''), cc	E''				511.0	494.0	510.4
Volumen de agua absorbida. (B''-A), cm ³	J''				32.9	34.6	43.6
% Saturación (100J''/I)					44.7	48.7	62.6
Hinchamiento (100(E''- E) / E), %					-1.9	-1.9	0.5
Lectura del dial de carga	Carga				159.0	156.7	159.0
Factor de corrección					0.96	1.00	1.00
Carga (lbf)	P''				336.5	345.5	350.5
Fuerza seca, 2P/pi*TD (psi)	Std	40.2	38.5	39.6			
Fuerza húmeda, 2P''/pi''*T''D (psi)	Stm				31.2	33.0	33.5
TSR, Stm /Std*100 (%)					82.51		
Daño por humedad (visual) (1)		0			3		
Agregado agrietado y roto		No presenta			No presenta		

Nota:


TIRSO ARENAS URQUIZO
ING. CONTROL DE CALIDAD
CIP 18795

Anexo 03: Análisis de precios unitarios

PROYECTO		TESIS: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO				
TIPO MEZCLA		MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE				
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Partida	Movilización y desmovilización de equipos					
Rendimiento	1.00	glb / día	Costo unitario directo por:		glb	2,000.00
Clasificación	AS001	Jornada de trabajo		horas	8.00	
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Mano de Obra						2,000.00
Global	glb		1.0000	2,000.00	2,000.00	
Partida	Demolición y remoción del pavimento con fresadora a 2"					
Rendimiento	1,500.00	m2 / día	Costo unitario directo por:		m2	9.22
Clasificación	AS001	Jornada de trabajo		horas	8.00	
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Mano de Obra						0.90
Peón	hh	6.00	0.0320	18.68	0.60	
Capataz	hh	0.50	0.0027	31.09	0.08	
Oficial	hh	2.00	0.0107	20.64	0.22	
Equipos						8.32
Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.90	0.05	
Cargador Frontal 220 HP	hm	1.00	0.0053	350.81	1.86	
Fresadora 565 HP	hm	1.00	0.0053	1,210.17	6.41	
Partida	Transporte de carpeta asfáltica fresada					
Rendimiento	328.00	m3-km	Costo unitario directo por:		m3	2.90
Clasificación	AS001	Jornada de trabajo		horas	8.00	
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Mano de Obra						0.42
Capataz	hh	0.55	0.0134	31.09	0.42	
Materiales						2.24
Petroleo Diesel N 32	gln		0.1450	15.46	2.24	
Equipos						0.24
Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.42	0.02	
Demolición y remoción del pavimento existente con fresadora a 2" hm	hm	1.00	0.0244	9.22	0.22	
Partida	Imprimación bituminosa					
Rendimiento	4,500.00	m2 / día	Costo unitario directo por:		m2	4.66
Clasificación	AS001	Jornada de trabajo		horas	8.00	
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Mano de Obra						0.23
Peón	hh	0.50	0.0009	18.18	0.03	
Operario	hh	3.00	0.0053	26.23	0.14	
Capataz	hh	1.00	0.0018	31.09	0.06	
Materiales						3.66
Asfalto para pavimentación MC-30	gln		0.2250	16.27	3.66	
Equipos						0.77
Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.23	0.01	
Barredora mecánica 10-20 HP	hm	1.00	0.0018	71.60	0.13	
Camión imprimador 210 HP 180 galones	hm	1.00	0.0018	232.86	0.42	
Tractor de tiro 80 hp	hm	1.00	0.0018	114.80	0.21	
Partida	Reposición de carpeta asfáltica en caliente					
Rendimiento	1,550.00	m2 / día	Costo unitario directo por:		m2	57.63
Clasificación	AS001	Jornada de trabajo		horas	8.00	

PROYECTO TESIS: MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIJO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO
 TIPO MEZCLA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

ANALISIS DE PRECIOS: UNITARIOS							
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.	
Mano de Obra							
Capataz	hh	1.00	0.0052	31.09	0.16		1.14
Peón	hh	8.00	0.0413	18.68	0.77		
Oficial	hh	2.00	0.0103	20.64	0.21		
Materiales							
Mezcla asfáltica en caliente	m3		0.0650	614.63	39.95		43.00
Transporte mezcla asfáltica c/volquete 15m3 D=30	m3		0.0650	46.90	3.05		
Equipos							
Herramientas manuales	%mo		5.0000	1.14	0.06		13.49
Rodillo neumático autopropulsado 91-100 HP 5.5-20 Tn	hm	1.00	0.0052	174.99	0.91		
Rodillo vibratorio autopropulsado 101-135 HP	hm	1.00	0.0052	226.45	1.18		
Volquete 6x4 330HP 15m3	hm	5.00	0.0258	394.66	19.18		
Pavimentadora sobre orugas 105 HP	hm	1.00	0.0052	224.02	1.16		
Sub Partida Mezcla asfáltica en caliente							
Rendimiento	240.00	m3 / día		Costo unitario directo por:	m3	614.63	
Clasificación	AS001			Jornada de trabajo:	horas	8.00	
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.	
Mano de Obra							
Capataz	hh	1.00	0.0333	31.09	1.04		3.91
Operario	hh	1.00	0.0333	26.23	0.87		
Peón	hh	1.00	0.0333	18.68	0.62		
Oficial	hh	2.00	0.0667	20.64	1.38		
Materiales							
Petroleo Diesel N 32	gln		5.8000	15.46	89.67		89.67
Equipos							
Herramientas manuales	%mo		5.0000	3.91	0.20		32.84
Cargador s/lantas 100-115 H P 2 -2.5 yd3	hm	1.00	0.0333	219.52	7.31		
Calentador de aceite 48-S HP 468 p3	hm	1.00	0.0333	27.39	0.91		
Secador de aridos 60 -115 ton/h	hm	1.00	0.0333	57.64	1.92		
Faja transportadora 18"X40"	hm	2.00	0.0667	7.76	0.52		
Planta de asfalto 150 ton/h	hm	1.00	0.0333	394.73	13.14		
Grupo electrogeno 150 kw	hm	1.00	0.0333	265.43	8.84		
Insumos de partida							
Cemento asfáltico	gln		35.8415	11.49	411.82		488.21
Piedra triturada	m3		0.4600	61.04	28.08		
Arena zarandeada	m3		0.2600	50.34	13.09		
Arena chancada	m3		0.3300	61.04	20.14		
Aditivo mejorador de adherencia (tipo amina)	kg		0.5426	27.80	15.08		
Partida Señales preventivas							
Rendimiento	4.00	und / día		Costo unitario directo por:	Und	200.85	
Clasificación	AS001			Jornada de trabajo:	horas	8.00	
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.	
Mano de Obra							
Capataz	hh	0.50	1.0000	31.09	31.09		109.73
Peón	hh	1.00	2.0000	18.68	37.36		
Oficial	hh	1.00	2.0000	20.64	41.28		
Materiales							
Señales preventivas	gln		1.0000	85.63	85.63		85.63
Equipos							
Herramientas manuales	%mo		5.0000	109.73	5.49		5.49

PROYECTO TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO
 TIPO MEZCLA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO CON CARPETA ASFALTICA FRESADA, EMULSION ASFALTICA TIPO CSS 1HP Y CEMENTO PORTLAND TIPO I

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Partida	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.
Movilización y desmovilización de equipos							
Rendimiento	1.00	glb / día			Costo unitario directo por:	glb	2,000.00
Clasificación	AS001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
Mano de Obra							
Global		glb		1,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00
Demolición y remoción del pavimento con fresadora a 2"							
Rendimiento	1,500.00	m2 / día			Costo unitario directo por:	m2	9.22
Clasificación	AS001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
Mano de Obra							
Peón		hh	6.00	0.0320	18.68	0.60	
Capataz		hh	0.50	0.0027	31.09	0.08	
Oficial		hh	2.00	0.0107	20.64	0.22	
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		5.0000	0.90	0.05	8.32
Cargador Frontal 220 HP		hm	1.00	0.0053	350.81	1.86	
Fresadora 565 HP		hm	1.00	0.0053	1,210.17	6.41	
Transporte de carpeta asfáltica fresada							
Rendimiento	328.00	m3-km			Costo unitario directo por:	m3	2.90
Clasificación	AS001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
Mano de Obra							
Capataz		hh	0.55	0.0134	31.09	0.42	0.42
Materiales							
Petroleo Diesel N 32		gln		0.1450	15.46	2.24	2.24
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		5.0000	0.42	0.02	0.24
Demolición y remoción del pavimento existente con fresadora a 2"		hm	1.00	0.0244	9.22	0.22	
Imprimación bituminosa							
Rendimiento	4,500.00	m2 / día			Costo unitario directo por:	m2	4.66
Clasificación	AS001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
Mano de Obra							
Peón		hh	0.50	0.0009	18.68	0.03	0.23
Operario		hh	3.00	0.0053	26.23	0.14	
Capataz		hh	1.00	0.0018	31.09	0.06	
Materiales							
Asfalto para pavimentación MC-30		gln		0.2250	16.27	3.66	3.66
Equipos							
Herramientas manuales		%mo		5.0000	0.23	0.01	0.77
Barredora mecánica 10-20 HP		hm	1.00	0.0018	71.60	0.13	
Camion imprimador 210 HP 180 galones		hm	1.00	0.0018	232.86	0.42	
Tractor de tiro 80 hp		hm	1.00	0.0018	114.60	0.21	

PROYECTO TESIS DE GRADO : MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO
 TIPO MEZCLA MEZCLA ASFALTICA EN FRIO CON CARPETA ASFALTICA FRESADA, EMULSION ASFALTICA TIPO CS S 1HP Y CEMENTO PORTLAND TIPO I

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Partida	Colocación de mezcla asfáltica en frío				Costo unitario directo por:	m2	35.83
Rendimiento	2,400.00	m2 / día			Jornada de trabajo:	horas	8.00
Clasificación	AS001						
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.	
Mano de Obra							1.24
Peón	hh	14.00	0.0467	18.68	0.87		
Capataz	hh	0.50	0.0017	31.09	0.05		
Operario	hh	2.00	0.0067	27.35	0.18		
Oficial	hh	2.00	0.0067	20.64	0.14		
Equipos							11.43
Herramientas manuales	%mc		5.0000	1.24	0.06		
Cargador Frontal 125 HP	hm	1.00	0.0033	141.60	0.47		
Rodillo Neumatico 10Tn	hm	1.00	0.0033	201.61	0.67		
Rodillo liso vibratorio manual 3.5Tn	hm	1.00	0.0033	144.86	0.48		
Plancha Compactadora	hm	1.00	0.0033	34.96	0.12		
Volquete 6x4 330HP 1.5M3	hm	6.00	0.0244	394.66	9.63		
Subpartidas							23.16
Mezcla asfáltica en frío con emulsión	m3		0.1200	193.03	23.16		
Subpartidas	Mezcla asfáltica en frío con emulsión				Costo unitario directo por:	m3	193.03
Rendimiento	200.00	m3 / día			Jornada de trabajo:	horas	8.00
Clasificación	AS001						
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.	
Mano de Obra							4.70
Peón	hh	4.00	0.1600	18.68	2.99		
Operario	hh	1.00	0.0400	27.35	1.09		
Capataz	hh	0.50	0.0200	31.09	0.62		
Materiales							1.03
Emulsión CSS-1HP	gh		0.0365	15.53	0.57		
Agua	m3		0.0920	2.81	0.26		
Cemento Portland Tipo I	m3		0.0066	29.80	0.20		
Equipos							36.88
Herramientas manuales	%mo		5.0000	4.70	0.24		
Cargador Frontal 125 HP	hm	1.00	0.0400	141.60	5.66		
Planta de asfalto en frío	hm	1.00	0.0400	394.73	15.79		
Grupo electrógeno 350 kw	hm	1.00	0.0400	379.77	15.19		
Subpartida							71.21
Fresado de carpeta asfáltica A 2"	M2		1.0000	71.21	71.21		
Subpartidas	Fresado de carpeta asfáltica A 2"				Costo unitario directo por:	m3	71.21
Rendimiento	200.00	m3 / día			Jornada de trabajo:	horas	8.00
Clasificación	PR001						
Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	Total \$/.	
Mano de Obra							3.36
Operador - Planta	hh	1.00	0.0400	27.91	1.12		
Peón	hh	3.00	0.1200	18.68	2.24		
Equipos							67.85
Herramientas manuales	%mc		5.0000	3.36	16.80		
Maquina Fresadora	hm	1.00	0.0400	1,210.17	48.41		
Barredora remolcada con motor auxiliar	hm	1.00	0.0400	46.22	1.85		
Dumper de descarga frontal de 1.5 L de carga útil	hm	1.00	0.0400	19.70	0.79		

Anexo 04: Fichas técnicas



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland Tipo I. Gracias a su nuevo diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.



USOS

- Cemento de uso general.

ATRIBUTOS

Diseño que supera los requisitos de las normas nacionales

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

RECOMENDACIONES PARA USO Y ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO



Mantener el cemento en un lugar seco bajo techo, protegido de la humedad.



Almacenar sobre plataforma de madera y en rumas que no excedan las 8 bolsas



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



*Requisito opcional.

Resistencia a la compresión (psi)

■ Resultado Promedio ■ Requisito mínimo NTP 334.009 / ASTM C150





Cemento Tipo I Estructural Cemento Portland Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	2.1
SO ₃	Máximo	3.0	%	NTP 334.086	2.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	3.1
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	8
Finura, Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4000
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.07
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	29.4 (4260)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	36.6 (5310)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	45.3 (6570)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	139
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	250

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.





Fecha Recomendada de Uso: para aprovechar de mejor manera sus propiedades



Fecha de Producción: para que utilices el cemento más fresco

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.

Pacasmayo 

 BITUPER OTOYA MH S.A.C.	FICHA TECNICA	Código : Emulbit CSS-1hP
	Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta	Revisión : Enero 2023
	CSS-1hP	Rvdo. por : Lab. Central
		Página : 1 de 2

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta Modificada con polímeros (CSS-1hP), tiene muy buena habilidad para mezclar con los agregados, es decir el asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia, el tiempo de rotura le permite alcanzar una buena trabajabilidad.

Las emulsiones con polímeros aportan mayor durabilidad en las aplicaciones que se vayan a efectuar.

Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir del estado de emulsión al de asfalto.

Esta presencia de polímero en la emulsión permite que al asfalto base modifique su reología, mejorándolo ostensiblemente, variando las características mecánicas donde cambia su resistencia a las deformaciones producidas por factores climatológicos y del tránsito, a esta característica se le llama susceptibilidad térmica: el asfalto a temperaturas altas se rigidiza y a temperaturas bajas aumenta su elasticidad.

Aplicaciones

Slurry Seal, mezclas densas, riegos de liga, tratamientos de fisuras y grietas, etc.(previa recomendación del proveedor)


CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Composición	:	Asfalto y agua
Color	:	Marrón oscuro
Aspecto	:	Líquido viscoso
Gravedad específica a 20 °C	:	0.98 - 1.00

CARACTERÍSTICAS TECNICAS DE LA EMULSION CSS-1hP, Tabla 415-04A

	Especificaciones.
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s	20 – 100
Carga de partículas	Positivo
Residuo Asfáltico	60.0 mín.
Sedimentación a los 7 días, %	5.0 máx.
Prueba de tamiz, %	0.1 máx
Mezcla con cemento, %	2.0 máx.
PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO POR EVAPORACION.	
Penetración (25°C, 100g, 5s), 0.1mm.	50(*) - 90(*)
Punto de Ablandamiento (A Y B), °C	45 mín.
Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.	≥ 10
Recuperación elástica (25°C, Torsión), %	≥ 20
Recuperación elástica , 25 °C, %	≥ 30

(*) En función a las condiciones climáticas del proyecto se definirá el grado, existe el otro 100-120

 <p>BITUPER OTOYA MH S.A.C.</p>	<p style="text-align: center;">FICHA TECNICA</p> <p style="text-align: center;">Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta</p> <p style="text-align: center;">CSS-1hP</p>	<p>Código : Emulbit CSS-1hP</p> <p>Revisión : Enero 2023</p> <p>Rvdo. por : Lab. Central</p> <p>Página : 2 de 2</p>
---	--	--

Se almacena en cisternas o cilindros metálicos a una temperatura de 10 °C a 50 °C, con agitación suave periódica si están en cilindros y recirculación con bomba cuando está en cisternas. Ver la hoja de manejo de emulsión.

Anexo 05: Panel de fotos**Figura 10**

Fisura Tipo Piel de Cocodrilo

**Figura 11**

Maquina fresadora WIRTGEN



Figura 12

Muestreo del material fresado en acopio

**Figura 13**

Muestra del material de carpeta fresada



Figura 14

Análisis Granulométrico de la muestra carpeta fresada

**Figura 15**

Extracción cuantitativa de asfalto de la muestra fresada



Figura 16

Mezcla asfáltica en frío con emulsión, material fresado y filler.

**Figura 17**

Rotulación de testigos de concreto asfáltico – Método Illinois



Figura 18

Contenido de agua de pre mezcla 3.0% / muestra de mezcla en frio

**Figura 19**

Contenido de agua de pre mezcla 6.0% / muestra de mezcla en frio



Figura 20

Preparación de los testigos de concreto asfáltico – Método Illinois

**Figura 21**

Testigos de concreto asfáltico – Método Illinois



Figura 22

Extracción de vacíos de aire - Ensayo Rice

**Figura 23**

Curado en baño maría @ 25° ± 1.0 °C testigos asfálticos



Figura 24

Testigos asfálticos seleccionados - Ensayo Lottman

**Figura 25**

Congelamiento 16h. @ $-18^{\circ} \pm 3.0^{\circ} \text{C}$ - Ensayo Lottman



Figura 26

Equipo de refrigeración a temperaturas $-18^{\circ} \pm 3.0^{\circ} \text{C}$

**Figura 27**

Acondicionamiento del testigo asfáltico – Ensayo Lottman



Figura 28

Rotura de los testigos asfáltico - Ensayo Lottman

**Figura 29**

Testigos asfáltico fallado - Ensayo Lottman

