

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como
alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autores:

Christian Arizaca Hancoco

Edgar Zenon Rodríguez Uscamayta

Asesor:

Mtro. Leonel Chahuares Paucar

Juliaca, julio de 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Leonel Chahuares Paucar, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE ACEITE DE MOTOR RECICLADO COMO ALTERNATIVA EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE”** los autores **Edgar Zenon Rodriguez Uscamayta** y **Christian Arizaca Hanco** tiene un índice de similitud de 18% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca a los 16 días del mes de julio del año 2026



Mtro. Leonel Chahuares Paucar

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 13 día(s) del mes de Julio del año 2026, siendo las 17:50 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing Ferrer Gonzaga Rojas

el (la) secretario(a):

Mg Horson Dubetly

Pari Gusi

y los demás miembros:

Dr. Edwin Parillo Escamano

y el (la) asesor(a)

Mtro Leonel Chahuares Pauca

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente

del(los) bachiller/es: a)

Christian Arizaca Flanco

b)

Edgar Zenon Rodriguez Uscamayta

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Christian Arizaca Flanco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Edgar Zenon Rodriguez Uscamayta

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a

[Firma]
Asesor/a

[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

[Firma]
Bachiller (c)

Contenido

Resumen	v
1. Introducción	7
2. Materiales y métodos	9
2.1 Materiales Ligante asfáltico	9
Agregados	10
Agregado grueso	10
Aceite de motor usado (WEO)	11
2.2 Preparación de mezclas asfálticas	12
Procedimiento del método Marshall (Estándar)	13
2.3 Ensayo Marshall	14
2.3.1 Normativa para los ensayos que se realizarán según MTC, ASTM, AASHTO	14
2.3.2 Parámetros de diseño de mezcla asfáltica en caliente	15
3. Resultados	16
3.1 Resultado de análisis químico del aceite de motor reciclado y nuevo	16
3.2 Granulometría (MAC2 / D3515-D4)	17
3.3 Diseño granulométrico homogenizado	18
3.4 Determinación de limite líquido, limite plástico de los suelos e índice de plasticidad (malla n° 40) y (malla n° 200)	19
3.5 Ensayo de equivalente de arena, suelos y agregados finos	19
3.6 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados	20
3.7 Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio y sodio	20
3.8 Ensayo de caras fracturadas en los agregados	20
3.9 Ensayo de partículas chatas y alargadas	21
3.10 Ensayo abrasión los ángeles al desgaste de los agregados	21
3.12 Ensayo Marshall	22
Modificado con aceite de motor reciclado (WEO)	22
Ensayo Marshall con asfalto (patrón)	25
3.13 Análisis de costos m ³	27
3.14 Prueba de hipótesis específica de investigación	27
3.15 Hipótesis nula e hipótesis alterna	29
3.16 Análisis estadístico Anova	29
3.17 Prueba POST HOC-TUKEY	32
4. Discusiones	34
5. Conclusiones	35
6. Referencias	36
Anexos	38

Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente

Influence of incorporating recycled engine oil as an alternative in hot-mix asphalt design

Arizaca Hanco Christian¹ · Rodríguez Uscamayta Edgar Zenon²

¹Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú

²Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú Autores de correspondencia: christian.arizaca@upeu.edu.pe; edgar.rodriguez@upeu.edu.pe

Resumen

El manejo inadecuado del aceite de motor reciclado (WEO) representa un problema ambiental debido a su potencial contaminante para el suelo y los recursos hídricos. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de aceite de motor reciclado en el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica mediante el método Marshall.

La metodología consistió en la caracterización de agregados y la elaboración de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de WEO. Se fabricaron un total de 16 briquetas Marshall para la evaluación experimental. las cuales fueron evaluadas mediante ensayos de estabilidad y flujo.

Los resultados mostraron que la mezcla con 1.5 % de WEO presentó el mejor comportamiento mecánico, con una estabilidad promedio de 13.69 kN y un flujo promedio de 2.7 mm, valores que se encuentran dentro de los rangos establecidos por las especificaciones técnicas vigentes para mezclas asfálticas.

En conclusión, la incorporación de aceite de motor reciclado en la mezcla asfáltica mostró resultados técnicamente viables bajo las condiciones evaluadas, siendo el 1.5 % el porcentaje óptimo de incorporación, lo que sugiere su potencial aplicación en el aprovechamiento de residuos dentro de la construcción de pavimentos.

Palabras clave: Mezcla asfáltica, aceite de motor reciclado, método Marshall, estabilidad, flujo, diseño de pavimentos.

Abstract

Improper management of recycled engine oil (WEO) represents an environmental problem due to its potential to contaminate soil and water resources. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effect of incorporating recycled engine oil on the mechanical behavior of an asphalt mixture using the Marshall method.

The methodology consisted of aggregate characterization and the preparation of asphalt mixtures with different percentages of WEO. A total of 16 Marshall specimens were prepared for experimental evaluation and were tested for stability and flow.

The results showed that the mixture containing 1.5% WEO exhibited the best mechanical performance, with an average stability of 13.69 kN and an average flow of 2.7 mm. These values were within the ranges established by the current technical specifications for asphalt mixtures.

In conclusion, the incorporation of recycled engine oil into the asphalt mixture showed technically feasible results under the evaluated conditions, with 1.5% identified as the optimal incorporation percentage. This finding suggests its potential application as a means of utilizing waste materials in pavement construction.

Keywords: Asphalt mixture, recycled engine oil, Marshall method, stability, flow, pavement design.

1. Introducción

La presente investigación plantea la incorporación de aceite de motor reciclado para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente, para disminuir la contaminación ambiental asimismo la producción de lubricantes ha ido incrementando en los últimos años por el crecimiento de las actividades como la minería informal, así como en el rubro del transporte y construcción.

El crecimiento poblacional en los últimos años se ha caracterizado por ser exponencial, lo que ha generado una creciente demanda de infraestructura y servicios básicos. Entre ellos, las vías de comunicación desempeñan un papel fundamental, ya que constituyen un medio esencial para la conexión entre las zonas rurales y urbanas, facilitando la movilidad de personas y mercancías, promoviendo la integración territorial y contribuyendo al desarrollo económico y social de la población.

Los aceites en su gran mayoría contienen metales pesados, lo cual al ser utilizado pierde dichas propiedades iniciales y sin un buen uso estos pueden afectar ambientalmente y la salud humana al momento de desechar, sin embargo, al incorporar este lubricante en porcentajes adecuados presenta beneficios al momento de la elaboración de mezcla asfáltica en caliente.

Esta investigación tiene como objetivo aplicar información valiosa para futuras investigaciones sobre el uso del WEO en mezclas asfálticas calientes. Se propone mejorar los componentes de la mezcla incorporando WEO. Este aditivo sintético ha sido estudiado por sus características, y podría servir como elemento útil en mezclas asfálticas. En este estudio se utiliza aceite reciclado en cantidades de 1,5%, 2%, 4% y 5,5%. Se analiza el impacto que tiene cada proporción en las características de la mezcla. Los Resultados de esta investigación sirven como base para estudios posteriores y tienden un gran valor en el campo.

Para el desarrollo del presente estudio, se realizaron diversos ensayos tanto a los agregados finos como a los agregados gruesos, evaluando propiedades fundamentales como la granulometría, la presencia de partículas chatas y alargadas, el peso específico, el equivalente de arena, la absorción, el contenido de sales solubles, así como la durabilidad frente a sulfato de magnesio y sodio, el índice de durabilidad y la abrasión mediante el ensayo Los Ángeles, todos ellos ejecutados conforme a los procedimientos establecidos por las normas ASTM, AASHTO y el método Marshall.

Jwaida et al. [5] tuvo como objetivo la investigación sobre la utilización de aceite de motor usado (WEO) en ligantes asfálticos para múltiples aplicaciones y las implicaciones económicas y medioambientales. Abarca los distintos tipos y fuentes de WEO para obtener información sobre 25 sus características y el proceso de preparación de ligantes asfálticos con WEO.

Calva Herrera & Raffo Suclupe, [1] buscó mitigar el impacto negativo en el medio ambiente generado por los aceites reciclados de motor (ARM) o comúnmente llamados aceites quemados que, por lo general, son eliminados a la intemperie. Es así que se adicionó ARM en porcentajes de acuerdo con PEN 60/70 de la mezcla patrón, planteándose el objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada y evaluar si esta satisface los estándares que exigen las normas. Se evaluó mediante la metodología Marshall una población total de 135 briquetas que incluyen las mezclas asfálticas modificadas con 0,5 %, 1,5 %, 2,5 % y 3,5 % de aceite reciclado. Se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto es de 5,75%, ensayado a temperaturas de 120 °C y 130°C.

Se concluye que El porcentaje óptimo de asfalto es 5,75 % y la adición óptima de aceite reciclado de motor es del 0,5 %, pues la mezcla con estos porcentajes da como resultado valores óptimos según método Marshall, obteniendo una rigidez de 2675 kg/cm, flujo de 3,30 mm y estabilidad de 884 kg, estudiados a temperaturas de 120 °C y, para temperatura de 130 °C, se obtuvo rigidez de 3409 kg/cm,

flujo de 3,47 mm y estabilidad de 1174 kg.

Oswaldo & Montes. analizaron la influencia del aceite de motor usado (Waste Engine Oil, WEO) como agente rejuvenecedor en mezclas asfálticas que incorporaban 35% de pavimento asfáltico reciclado (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP). Para el estudio se elaboraron 18 briquetas tipo Marshall de 1200 g, distribuidas en tres tratamientos con contenidos de WEO de 0%, 3% y 5%, manteniendo constantes las proporciones de agregados vírgenes (65%), RAP (35%) y un contenido de ligante asfáltico equivalente al 4,8% del peso total de la mezcla. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a ensayos de porcentaje de vacíos, estabilidad, flujo, relación estabilidad-flujo y resistencia a la humedad mediante tracción indirecta. Los resultados indicaron que la incorporación de WEO mejoró la capacidad de rejuvenecimiento del ligante envejecido presente en el RAP, aunque también produjo una disminución de la rigidez de la mezcla. Asimismo, se observó que la estabilidad cumplió con los valores exigidos por la normativa, mientras que el flujo y la relación estabilidad-flujo no alcanzaron los criterios establecidos para pavimentos de tránsito tipo NT1. En consecuencia, los autores señalaron que el uso de WEO requiere una dosificación adecuada para mantener un equilibrio entre la flexibilidad y el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica.

Nazri Borhan et al., [9] tuvieron como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas de control y modificadas. Las mezclas asfálticas modificadas se estudiaron en asfalto mezclado en frío. En este estudio se utilizó aceite de cilindro usado (UCO) (Aceite de Cocina Usado) como modificador. La eficacia de la modificación se evaluó mediante la mejora del rendimiento de las mezclas de hormigón asfáltico preparadas. A continuación, se realizó el análisis físico del UCO. Se prepararon mezclas de hormigón asfáltico con diferentes porcentajes de UCO (0, 20, 25 y 30%) como modificador. Estas muestras se caracterizaron mediante el ensayo de estabilidad Marshall, el ensayo de tensión indirecta, el ensayo de fluencia estática y el ensayo de fluencia dinámica. Como resultado, la adición de aceite al asfalto ha reducido la solvencia de los maltenes. Cuanto mayores son los porcentajes de aceite añadidos, más blandos resultan los ligante asfalto -UCO. Se considera que cuanto mayores eran los porcentajes de UCO, menor era la capacidad de las mezclas para resistir la deformación que se producía.

Z. Liu et al., [7] el reciclado de aceite de motor usado (WEO) en el asfalto no sólo puede ahorrar recursos naturales crudos no renovables, sino que también puede reducir las emisiones de CO₂ y promover la economía ecológica. Este trabajo intenta explorar la viabilidad de la utilización de WEO y PPA en la modificación del asfalto. Se analizó la influencia de WEO/PPA en el rendimiento convencional.

Xu et al., [13] tuvieron como objetivo, La utilización de residuos de caucho reciclado en la construcción de pavimentos asfálticos no sólo mejora el rendimiento de los pavimentos, sino que también promueve el desarrollo sostenible, los pavimentos de asfalto de caucho han recibido una atención significativa en los últimos años. Sin embargo, el asfalto de caucho convencional presenta numerosas desventajas, como baja solubilidad, alta viscosidad, dispersión desigual y poca estabilidad de almacenamiento.

S. Liu et al., [6] tuvieron como objetivo explorar la influencia del aceite de motor usado (WEO) en los ligantes asfálticos en términos de compuestos químicos, pesos moleculares y propiedades reológicas. Se modificaron tres fuentes de asfalto con WEO en concentraciones de 4 y 8 % en peso. Se utilizó la cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) para revelar los principales componentes químicos del WEO.

Paliukaite et al., [11] tuvieron como objetivo efectos de los fondos de aceite de motor reciclados (REOB) en las propiedades de fallo dúctil de los cementos asfálticos. Los ligantes se ensayaron de

acuerdo con los protocolos de ensayo habituales de la AASHTO M320, así como con el ensayo de tensión de doble borde entallado (DENT). Analizando los resultados de la prueba DENT, determina el trabajo esencial de fallo (we, una medida de resistencia y tenacidad) y el desplazamiento crítico de apertura de la punta de la grieta.

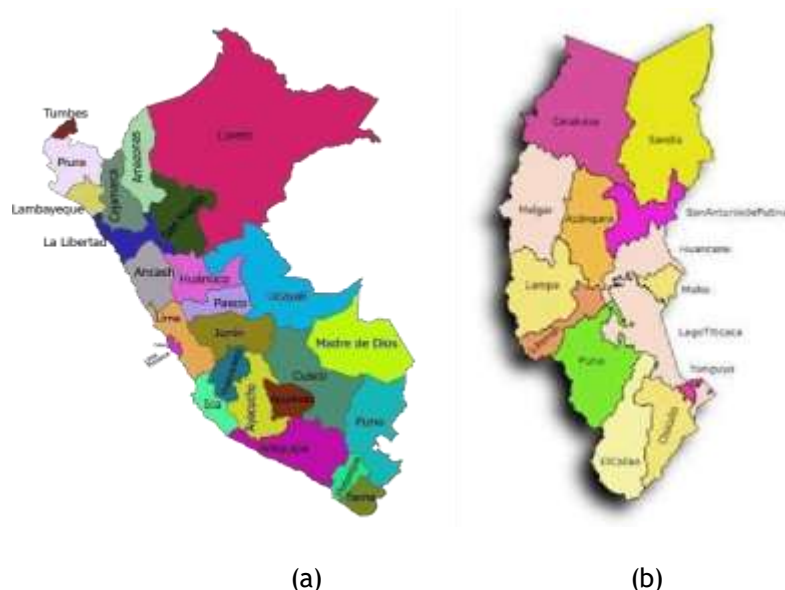


Fig 1 En la figura (a) se muestra el mapa de Perú y en la figura (b) se aprecia la región de puno

Dada esta circunstancia, se llevaron a cabo evaluaciones para comprobar si al incorporar el WEO en el diseño de mezcla asfáltica en caliente mejora sus características físicas y mecánicas, con la finalidad de obtener nuevas alternativas de soluciones que sean amigables con el medio ambiente.

La presente investigación tuvo como objetivo establecer cómo afecta la Incorporación de aceite de motor reciclado como una alternativa en el diseño de mezclas asfálticas.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales Ligante asfáltico

Para la siguiente investigación se utilizó ligante asfáltico de grado de penetración 120-150 se adquirió de REPSOL Lima, Peru.



Fig .2 Ligante asfaltico

Agregados

a) Agregado fino

Los agregados utilizados en esta investigación provinieron de fuentes naturales de la región. La arena chancada fue extraída de formaciones rocosas ubicadas en la margen del río Vilcanota, presentando una textura angular ideal para favorecer la adherencia con el ligante. La arena natural se obtuvo del río Ayaviri, caracterizada por su forma subredondeada y granulometría adecuada para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Ambos materiales fueron clasificados y analizados según la norma ASTM C136 para garantizar su aptitud en mezclas asfálticas.



Fig. 3 En la figura (a) se muestra la arena chancada y en la figura (b) se aprecia la arena natural

Agregado grueso

El agregado grueso utilizado en esta investigación fue recolectado de depósitos aluviales ubicados en las riberas del río Vilcanota. Este material, de origen natural, está compuesto principalmente por fragmentos de roca ígnea de elevada dureza y durabilidad, lo cual lo hace adecuado para su empleo en mezclas asfálticas en caliente.



Fig. 4 agregado grueso de 3/8 y 1/2

Aceite de motor usado (WEO)

El aceite de motor se produce a partir de aceites base de parafina con una pequeña adición de compuestos generalmente añadidos para mejorar las características de viscosidad, la estabilidad y la inflamabilidad. El aceite de motor del vehículo se cambia después de un kilometraje determinado por el fabricante. En este estudio, se utilizó aceite mobil 15w40, que se cambió después de un kilometraje de 3000 km, el aceite fue proporcionado por el taller automotriz Ramos; dicho aceite fue previamente sometido a un análisis químico para verificar sus características y asegurar su idoneidad antes de su incorporación en la mezcla asfáltica.



Fig. 5 Aceite de motor reciclado mobil 15 w40

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento experimental desarrollado para la elaboración y evaluación de las mezclas asfálticas modificadas. Este esquema permite visualizar de forma secuencial y estructurada las etapas fundamentales del proceso, que incluyen desde la recolección y acondicionamiento del aceite de motor reciclado, hasta la formulación de las briquetas y la posterior caracterización mediante ensayos estandarizados. El plan experimental se presenta en la figura 6.

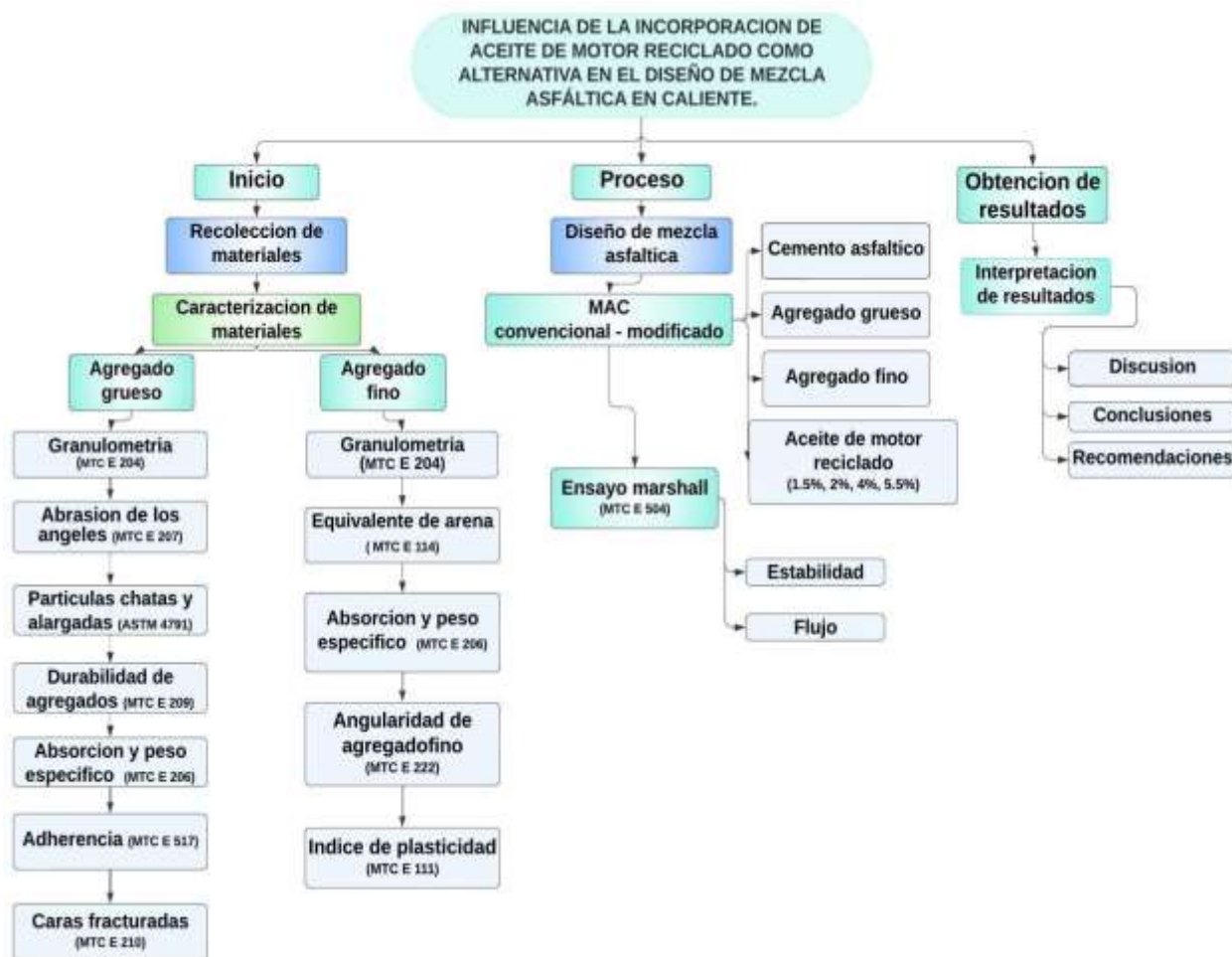


Fig. 6 diagrama de flujo experimental

2.2 Preparación de mezclas asfálticas

En el desarrollo del estudio, se utilizó ligante asfáltico virgen de grado de penetración 120-150, modificado con adición de aceite de motor usado (WEO) en proporciones de 1.5%, 2%, 4% y 5.5%. La mezcla modificada con (WEO) se preparó manualmente de forma continua durante 5 minutos a una temperatura de 170°C-160°C conforme al rango de mezclado recomendado por la Norma Técnica Peruana (NTP). Según la Norma (ASTM D6926/AASHTO) T2245 el ligante y los agregados deben calentarse una temperatura que produzca una viscosidad del ligante de 170 ± 20 . Mencionaremos el procedimiento que se realizó a detalle en la figura 7.

Procedimiento del método Marshall (Estándar)

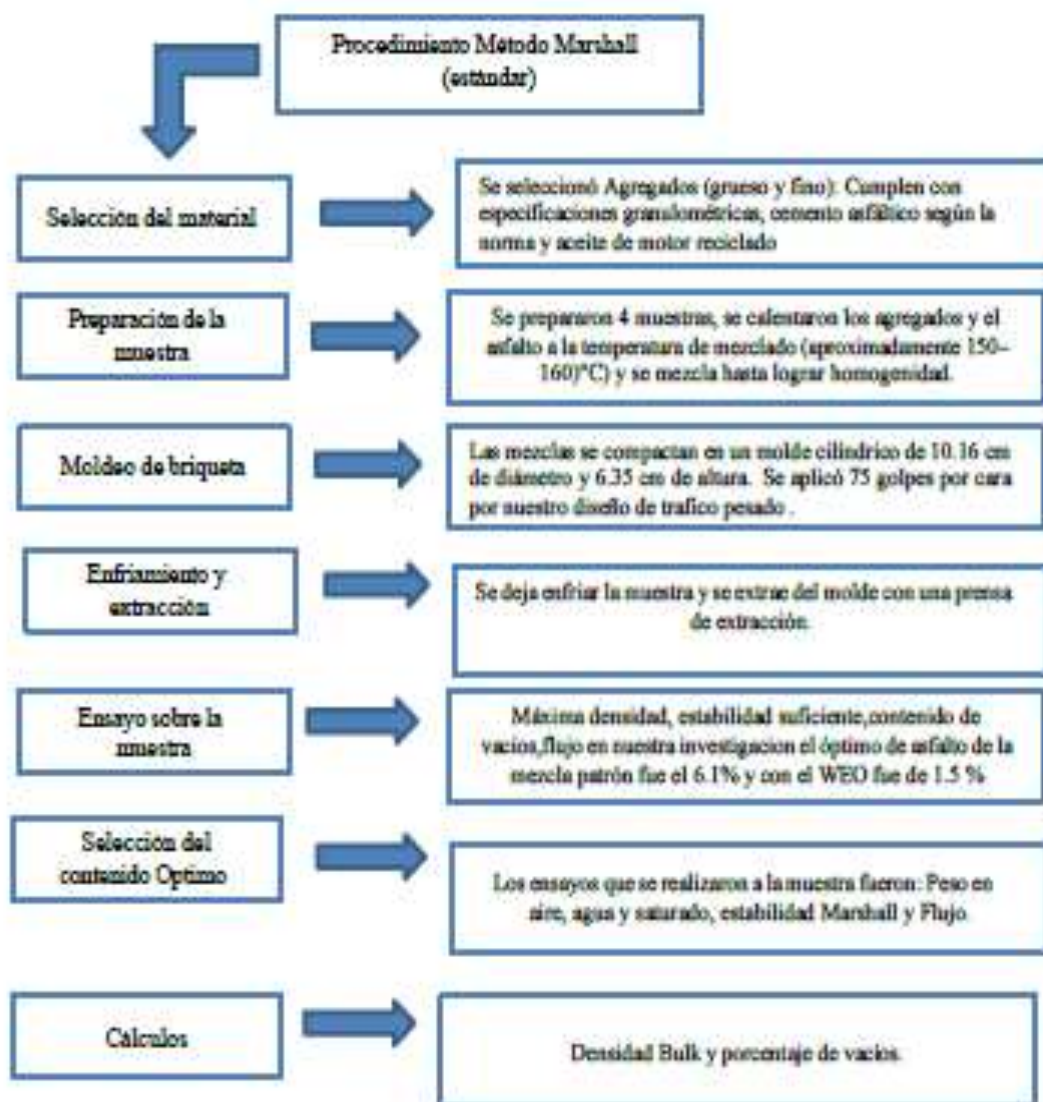


Fig. 7 Procedimiento del método Marshall

2.3 Ensayo Marshall

2.3.1 Normativa para los ensayos que se realizarán según MTC, ASTM, AASHTO

Las normativas que rigen los ensayos de asfaltos y agregados desempeñan un papel fundamental en el control de calidad de los materiales destinados a la construcción de pavimentos. Estas especificaciones técnicas establecen los métodos de prueba requeridos para determinar características clave como la estabilidad, la textura superficial y la compatibilidad entre componentes. Su aplicación rigurosa permite validar el comportamiento mecánico de las mezclas bajo distintas condiciones de carga y temperatura, favoreciendo la durabilidad estructural de las obras viales.

Tabla 1 Agregado Grueso

Ensayos	Instrumentos
Durabilidad (Al sulfato de magnesio) según la norma MTC E 209 Abrasión Los Ángeles según la norma MTC E 207	Fichas Resultados de Laboratorio, Fichas Resultados de Laboratorio,
Adherencia 517	Fichas Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E
Índice de durabilidad según la norma MTC E 214 Partículas chatas y alargadas de Laboratorio, según la norma ASTM 4791 Caras fracturadas de Laboratorio, según la norma MTC E 210	Fichas Resultados de Laboratorio, Fichas Resultados Fichas Resultados
Sales solubles y totales 219	Fichas Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E
Absorción 206	Fichas Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E
Nota. Fuente: Elaboración propia	

Tabla 2 Agregado fino

Ensayo	Instrumento
Índice de durabilidad 214	Fichas Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E
Equivalente de arena según la norma MTC E 114 Angularidad de agregado fino Laboratorio, según la norma MTC E 222 Azul de metileno Laboratorio, según la norma AASHTO TP 57 Índice de plasticidad (malla N.º 40 y malla Fichas Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E 111 Durabilidad (Al sulfato de magnesio) según la norma MTC E 209 Sales solubles y totales Laboratorio, según la norma MTC E 219	Fichas Resultados de Laboratorio, Fichas Resultados de Fichas Resultados de Fichas Resultados de Laboratorio, Fichas Resultados de

Absorción
206

Fichas Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Ensayo para el diseño de mezcla

Ensayo	Instrumento
Análisis granulométrico de agregado gruesos y finos	Fichas Resultados de Laboratorio,
según la norma MTC E 204 Ensayo de gravedad específica de los agregados	Fichas
Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E 205 Ensayo método Marshall	Fichas
Resultados de Laboratorio, según la norma MTC E 504	

Tabla 4 Parámetros de aceptación para los ensayos agregado fino (MTC)

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento
Absorción	MTC E 206	0.5% máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	18 % máx
Índice de plasticidad (tamiz N°40)(N°200)	MTC E 111	N.P
Equivalente de arena	MTC E 114	70% mín

Tabla 5 Parámetros de aceptación para los ensayos agregado grueso (MTC)

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento
Absorción	MTCE 206	1% máx.
Abrasión los Ángeles	MTCE 207	25% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTCE 209	18% máx.
Caras fracturadas	MTCE 210	90 %/70%
Partículas chatas y alargadas	MTCE 223	10% máx.
Adherencia	MTCE 517	>95

2.3.2 Parámetros de diseño de mezcla asfáltica en caliente

Algunos parámetros de diseño típicos que se consideran dentro de la metodología Marshall se definen en función del tráfico estimado durante la fase de operación de la carretera, tal como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6 Parámetros típicos de diseño en la Metodología Marshall definidos en función del tráfico

Parámetro de diseño	Tráfico liviano	Tráfico medio	Tráfico pesado
Compactación (número de golpes por cara)	35	50	75
Estabilidad, N (kgf)	3.336 (450)	5.338 (550)	8.006 (800)
Flujo, 1/100 pulg (1/100 cm)	8 a 18 (20 a 45)	8 a 16 (20 a 40)	8 a 16 (20 a 35)
Vacíos al aire, %	3 a 5	3 a 5	3 a 5

3. Resultados

3.1 Resultado de análisis químico del aceite de motor reciclado y nuevo

Tabla 7 Resultados de análisis químico del aceite de motor reciclado

RESULTADOS ANALITICOS			
Parámetros	Resultados	Unidades	Método
Viscosidad 60 °C	110	cSt	ASTM D445 / AASHTO T201
Punto de inflamación	178	°C	ASTM D92 / AASHTO T48
Punto de combustión	205	°C	ASTM D92 / AASHTO T48
Densidad a 15,6 °C	0.896	g/mL	ASTM D70 / AASHTO T228
Gravedad 15.6 °C	26.4	°API	ASTM D287 / AASHTO T 44
Agua	<0.05	% vol.	ASTM D95 / AASHTO T 55
Sedimentos	0.3	% vol.	ASTM D2273 / AASHTO T 176
Insolubles en Benceno	1.8	% peso	ASTM D893 / AASHTO T 164
Solubles en gasolina	>98	% vol.	ASTM D893 / AASHTO T 44
Punto de ignición	220	°C	ASTM D92 / AASHTO T48

Tabla 8 Especificaciones típicas de un aceite SAE 15W-40 nuevo según fichas técnicas de fabricantes y normas ASTM (Mobil Delvac 15W-40)

RESULTADOS ANALITICOS		
Parametros	Resultados	Unidades
Viscosidad @ 40 °C	105 - 110	mm ² /s
Viscosidad cinemática a 100 °C	14.0 - 15.0 mm ² /s	mm ² /s
Índice de viscosidad	135 - 145	-
Número Base Total (TBN)	10 - 12 mg KOH/g	mg KOH/g
Cenizas sulfatadas	1.2 - 1.4	% masa
Densidad a 15 °C	0.87 - 0.89	g/cm ³
Punto de inflamación	220 - 230	°C
Punto de fluidez	-27 a -30	°C
Clasificación de viscosidad	SAE 15W-40	-

Tabla 9 Similitudes clave entre asfalto y aceite de motor reciclado

SIMILITUDES CLAVE ENTRE ASFALTO Y ACEITE DE MOTOR RECICLADO			
Características	Asfalto	Aceite de motor	Observación
composición	Hidrocarburos pesados	Hidrocarburos residuales	Ambos derivados del petróleo
viscosidad	Alta a temperatura ambiente	Alta a temperatura ambiente	Fluidez controlada al calentar
Hidrofobicidad	si	si	Resistencia al agua, útil como recubrimiento
Adhesión a superficies	alta	media	Permite mejorar ligantes asfálticos

3.2 Granulometría (MAC2 / D3515-D4)

Romero Pumayali, [12] 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.

Se realizó el ensayo de granulometría para poder ver si el agregado que vamos a usar cumpla con las normas técnicas y así se pueda tener un resultado óptimo en este caso se analizaron cuatro tipos de granulometrías de los agregados de 1/2 ,3/8, arena natural y arena chancada con el fin de homogenizar las cuatro muestras.

Tabla 10 Resultados de granulometría de las canteras I, II, III, IV (Rio Vilcanota y Rio Ayaviri)

Tamiz (pulg)	% Que pasa de los ag			
	CANTERA I Río Vilcanota Piedra chancada 1/2"	Río Vilcanota Gravilla 3/8"	Río Vilcanota Arena chancada	CANTERA IV Río Ayaviri Arena natural
1"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	51.6	100.0	100.0	100.0
3/8"	30.4	83.9	100.0	100.0
#4	7.8	15.4	97.0	94.3
#8	1.2	2.8	80.0	75.3
#10	1.0	2.7	75.2	69.8
#16	1.0	2.7	61.1	55.7
#30	1.0	2.7	45.8	35.6
#40	1.0	2.7	39.3	23.9
#50	1.0	2.7	32.9	14.6
#80	1.0	2.7	23.5	8.2
#100	1.0	2.7	20.1	5.4
#200	1.0	2.7	14.1	2.9

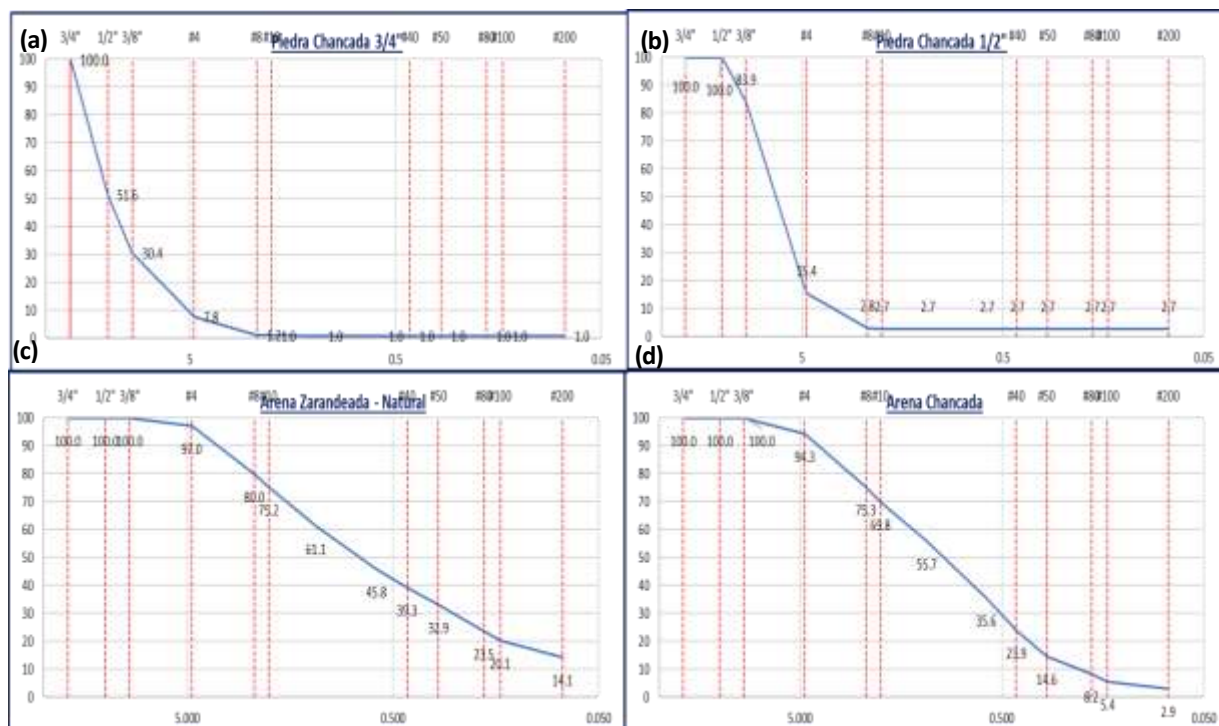
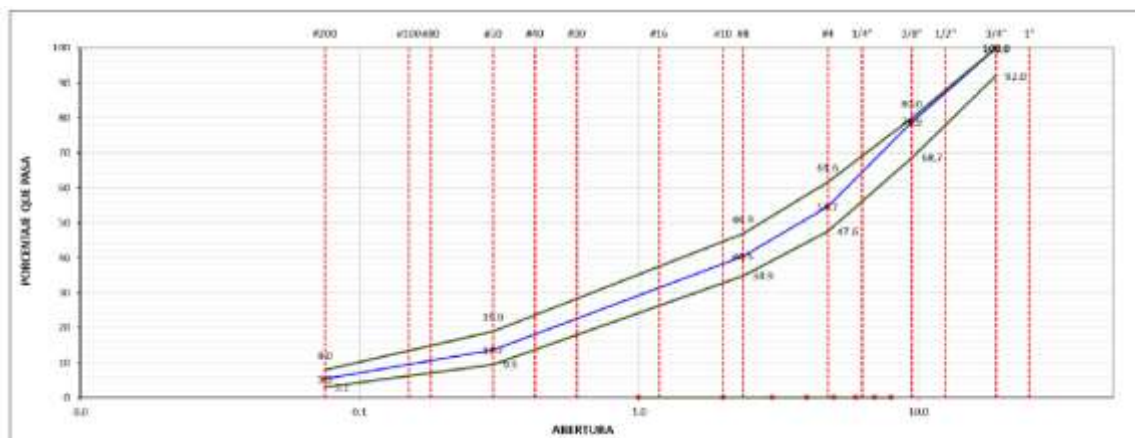


Fig. 8 Curva granulométrica (a) cantera II, (b) cantera I, (c) cantera IV y (d) cantera III.

3.3 Diseño granulométrico homogenizado

Se realizó el ensayo de granulometría de los agregados previamente homogenizados con el fin de verificar que la distribución de tamaños de partículas cumpla con los rangos establecidos para mezclas asfálticas en caliente tipo MAC-2, de acuerdo con las especificaciones correspondientes. Este análisis permitió determinar la adecuación del material para su utilización en el diseño de la mezcla asfáltica. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12, donde se comparan con los límites granulométricos establecidos en la norma ASTM D3515.

Tabla 11 Resultados del análisis granulométrico de los agregados comparados con las especificaciones para mezcla asfáltica tipo MAC-2 según la norma ASTM D3515.



3.4 Determinación de limite líquido, limite plástico de los suelos e índice de plasticidad (malla n° 40) y (malla n° 200)

De acuerdo con los ensayos realizados sobre el material que pasa la malla N°40 y N°200, se concluye que la muestra que pasa por la malla N°200 es de 6.12 gr. Esto indica que el suelo no posee fracción fina con características cohesivas suficientes para desarrollar plasticidad, por lo que puede clasificarse como un material no plástico (NP)

Instituto de la Construcción y Gerencia, Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Tabla 12 Resultados de limite líquido, limite plástico de los suelos e índice de plasticidad (malla n° 40 y malla n° 200)

Resultados del ensayo		
Constant		
e física de la muestra		
Limite liquido LL (%)		NP
Limite plástico LP (%)	NP	
Índice de plasticidad IP (%)	NP	

3.5 Ensayo de equivalente de arena, suelos y agregados finos

El ensayo de equivalente de arena se realizó con el objetivo de determinar la proporción relativa de materiales finos susceptibles a dispersarse en agua, principalmente arcillas, presentes en una muestra de material fino. Esta prueba es útil para evaluar la limpieza del agregado fino, es decir, su contenido de partículas no deseables que podrían afectar el desempeño en mezclas.

Manual de laboratorio, [3] En el presente laboratorio el ensayo de equivalente de arena en agregados finos es de gran importancia, ya que sirve para determinar la cantidad de finos en la muestra, y además su influencia en la resistencia y durabilidad de la mezcla, nos puede decir si este material es apto o no para nuestra mezcla, si el caso fuera de que no es apto, se tendrá que lavar el material para reducir nuestros finos.

Tabla 13 Resultados del ensayo de equivalente de arena muestra M1, M2 y M3

Ensayo equivalente de arena resultados			
Muestra	M1	M2	M3
Resultados %	72.0	78.0	78.0
Promedio %		76.0	

3.6 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados

El ensayo de gravedad específica y absorción tiene como propósito determinar dos propiedades fundamentales de los agregados: la densidad relativa (o gravedad específica) y su capacidad para retener agua dentro de sus poros. Estas características son esenciales para el diseño de mezclas de concreto y asfalto, ya que influyen directamente en las proporciones de los materiales, la trabajabilidad y la resistencia final de la mezcla.

Calderon Alayo, [2]Gravedad Específica es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a temperaturas indicadas. Absorción es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en agua

Tabla 14 Resultados del ensayo de gravedad específica y adsorción

Ensayo de gravedad específica y absorción de resultados				
Muestra	M1	M2	M3	Promedio
Agregado fino %	0.77 %	0.86 %	0.86 %	0.82 %
Agregado grueso %	0.98 %	0.87 %	0.82 %	0.89 %

3.7 Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio y sodio

El ensayo de resistencia a la desintegración por sulfato de sodio o sulfato de magnesio tiene como objetivo evaluar la durabilidad de los agregados frente a ciclos de intemperismo acelerado. Este procedimiento simula el efecto de la acción del agua y las sales sobre los poros del agregado, lo que permite estimar su comportamiento ante condiciones climáticas adversas o ambientes agresivos.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, [8]Este Modo Operativo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar.

Tabla 15 Resultados del ensayo de sulfato de magnesio y sodio

Ensayo de duración al sulfato de magnesio y sodio	
Muestra	Promedio de muestras
Agregado fino %	9.0
Agregado grueso %	10.8

3.8 Ensayo de caras fracturadas en los agregados

El ensayo de caras fracturadas tiene como finalidad determinar el porcentaje de partículas en el agregado grueso que presentan superficies angulosas o quebradas como resultado de un proceso

mecánico, y no de su forma natural. Este parámetro es importante porque influye directamente en la adherencia del agregado con la pasta de cemento o el asfalto, lo que a su vez afecta la resistencia y estabilidad de la mezcla.

Tabla 16 Resultados del ensayo de caras fracturadas en los agregados

ensayo de caras fracturadas en los agregados	
Muestra	Porcentajes %
Con una cara fracturada	98.32
Con dos caras fracturadas	96.96

3.9 Ensayo de partículas chatas y alargadas

El ensayo de partículas chatas y alargadas permite identificar la proporción de agregados gruesos que presentan formas geométricas desfavorables, las cuales pueden afectar negativamente la trabajabilidad, compactación y resistencia de las mezclas de concreto o asfalto. Las partículas que presentan relaciones desbalanceadas entre su largo, ancho y espesor tienden a generar vacíos excesivos y a dificultar el acomodo dentro de la matriz de la mezcla.

Tabla 17 Resultados del ensayo de partículas chatas y alargadas

Ensayo de partículas chatas y alargadas	
Peso total de la muestra (gr)	2859.00 %
Partículas chatas y alargadas (%)	6.40
valoración	cumple

3.10 Ensayo abrasión los ángeles al desgaste de los agregados

Durante el procedimiento, una muestra normalizada de agregado grueso se introduce en una máquina específica que contiene un tambor giratorio de acero con una serie de bolas de acero como carga abrasiva. El conjunto se hace girar a una velocidad y número de revoluciones definidos por norma, generando impactos y fricción entre las partículas y las bolas metálicas.

Tabla 18 Resultados de ensayo de abrasión los ángeles al desgaste de los agregados

Ensayo de abrasión los ángeles al desgaste de los agregados	
Retenido en la malla # 12 (gr)	3.905
Desgaste (%)	21.90

3.11 Cuadro de resumen de ensayos según parámetros

Análisis comparativo con las normativas y los resultados de los ensayos.

Tabla 19 Comparación de los resultados con las normativas en los ensayos de agregado fino

Ensayo de agregado fino	Norma MTC	Requerimiento	Resultado	Cumple
Absorción	MTC E 206	0.5% máx	0.82%	No cumple
Durabilidad al sulfato de Índice de plasticidad (tamiz N°40) (tamiz #200)	MTC E 209	18 % máx	9%	cumple
	MTC E 111	N.P	NP	-
Equivalente de arena	MTC E 114	70% mín	76%	cumple
Angularidad	MTC E 214	>40%	47.69	cumple

Tabla 20 Comparación de los resultados con las normativas en los ensayos de agregado grueso

Ensayo de agregado grueso	Norma MTC	Requerimiento	Resultado de ensayo	Cumpleo no cumple
Absorción	MTC E 206	1% máx	0.86 %	cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	25% máx	21.90%	cumple
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	18% max	10.8%	cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	90 %/70%	98.32%-96.96%	cumple
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223	10% máx	6.40%	cumple
Adherencia	MTC E 517	>95%	97.56%	cumple

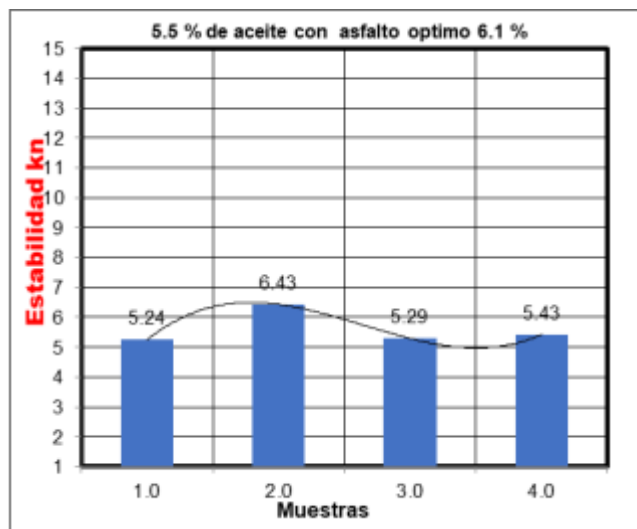
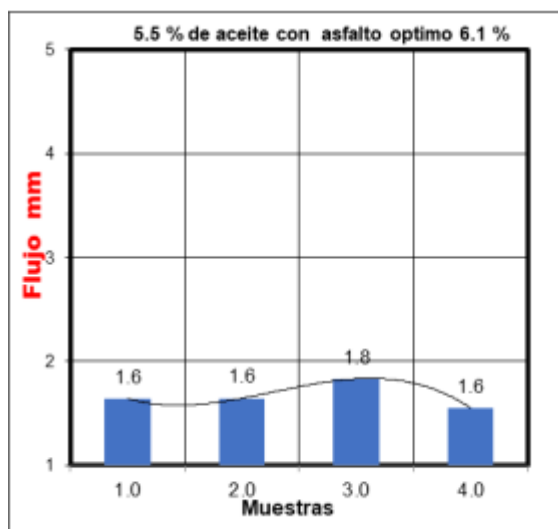
3.12 Ensayo Marshall

Modificado con aceite de motor reciclado (WEO)

En la Tabla 22. se presentan los resultados obtenidos del ensayo Marshall modificado con aceite de motor reciclado (WEO)

Tabla 21 Resultados del ensayo Marshall modificado con aceite de motor reciclado (optimo 1.5%)

Modificado con aceite y se usó la mezcla de 6.1 %						
M1	5.5	%	Estabilidad (KN) =	5.24	Flujo (mm)=	1.6
M2	5.5	%	Estabilidad (KN) =	6.43	Flujo (mm)=	1.6
M3	5.5	%	Estabilidad (KN) =	5.29	Flujo (mm)=	1.8
M4	5.5	%	Estabilidad (KN) =	5.43	Flujo (mm)=	1.6
M1	4	%	Estabilidad (KN) =	7.02	Flujo (mm)=	1.8
M2	4	%	Estabilidad (KN) =	7.85	Flujo (mm)=	1.6
M3	4	%	Estabilidad (KN) =	7.62	Flujo (mm)=	1.5
M4	4	%	Estabilidad (KN) =	7.17	Flujo (mm)=	1.7
M1	2	%	Estabilidad (KN) =	8.73	Flujo (mm)=	1.5
M2	2	%	Estabilidad (KN) =	8.78	Flujo (mm)=	1.7
M3	2	%	Estabilidad (KN) =	8.31	Flujo (mm)=	1.7
M4	2	%	Estabilidad (KN) =	8.58	Flujo (mm)=	1.6
M1	1.5	%	Estabilidad (KN) =	13.43	Flujo (mm)=	2.7
M2	1.5	%	Estabilidad (KN) =	13.93	Flujo (mm)=	2.6
M3	1.5	%	Estabilidad (KN) =	13.64	Flujo (mm)=	2.7
M4	1.5	%	Estabilidad (KN) =	13.74	Flujo (mm)=	2.8


Fig. 10 Diseño MAC-MOD al 5.5% con Flujo de 1.8 máx. 1.6 mín. y estabilidad de 6.43 máx. 5.24 mín.

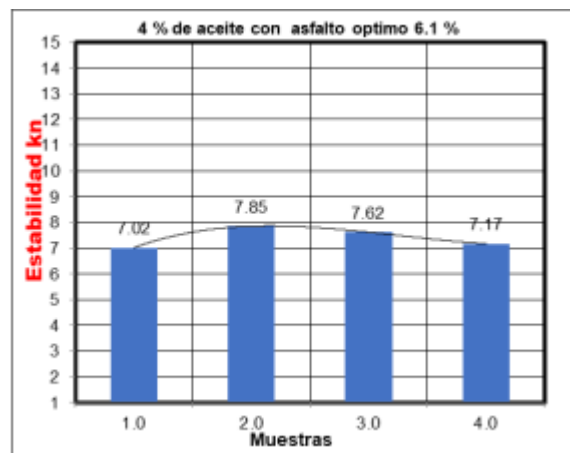
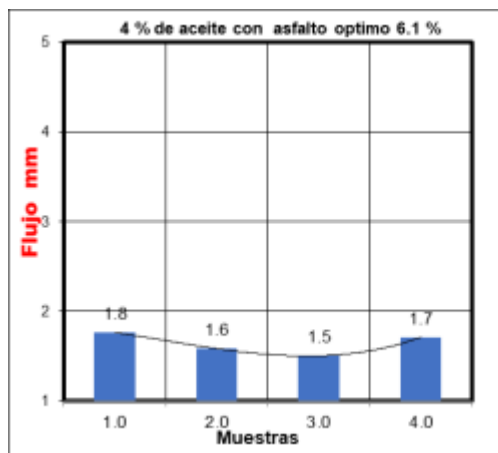


Fig. 11 diseño MAC-MOD al 4% con Flujo 1.8 máx. 1.5 min y estabilidad 7.85 máx. 7.02 min.

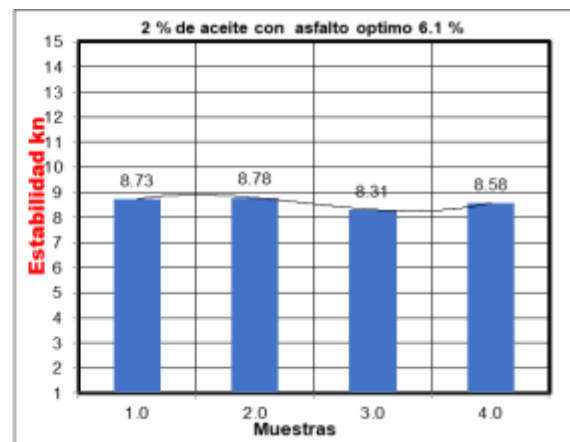
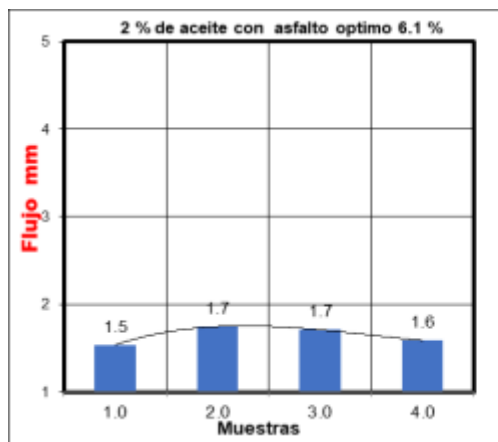


Fig. 12 diseño MAC-MOD al 2% Flujo 1.7 máx. 1.5 min y estabilidad 8.78 máx. 8.31 min.

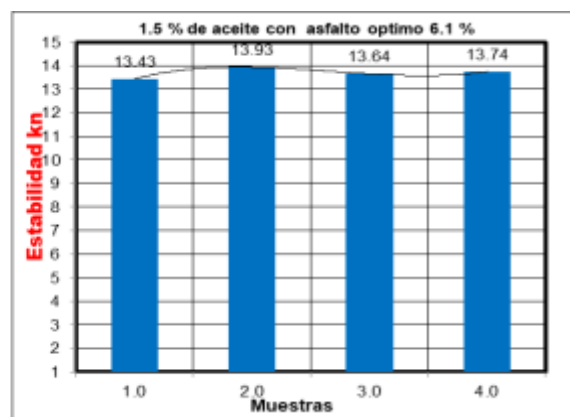
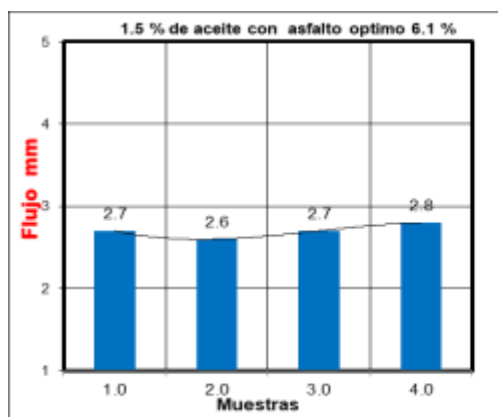


Fig. 13 diseño MAC-MOD al 1.5% Flujo 2.8 máx. 2.6 min. y estabilidad 13.93 máx. 13.43 min.

Se elaboraron 32 briquetas, divididas en dos grupos de 16 unidades. En el primer grupo se empleó mezcla asfáltica modificada con (WEO) con contenidos de 1.5%, 2%, 4% y 5.5%. El contenido de 1.5% resultó ser el más favorable, mejorando la estabilidad en un promedio de 13.69 kN y reduciendo el flujo a 2.7 mm promedio. En conclusión, los resultados evidencian que la incorporación controlada de WEO puede optimizar las propiedades estructurales de la mezcla asfáltica, representando una alternativa técnica y ambientalmente viable en la construcción de pavimentos sostenibles.

Ensayo Marshall con asfalto (patrón)

Tabla 22 Resultados del ensayo Marshall con asfalto (patrón) optimo 6.1%

Asfalto						
M1	5.5	%	Estabilidad (KN) =	9.64	Flujo (mm)=	1.7
M2	5.5	%	Estabilidad (KN) =	9.37	Flujo (mm)=	1.7
M3	5.5	%	Estabilidad (KN) =	9.98	Flujo (mm)=	1.6
M4	5.5	%	Estabilidad (KN) =	9.45	Flujo (mm)=	1.7
M1	6	%	Estabilidad (KN) =	10.07	Flujo (mm)=	1.8
M2	6	%	Estabilidad (KN) =	10.13	Flujo (mm)=	1.6
M3	6	%	Estabilidad (KN) =	10.17	Flujo (mm)=	1.7
M4	6	%	Estabilidad (KN) =	10.25	Flujo (mm)=	1.7
M1	6.1	%	Estabilidad (KN) =	12.99	Flujo (mm)=	2.0
M2	6.1	%	Estabilidad (KN) =	12.67	Flujo (mm)=	2.1
M3	6.1	%	Estabilidad (KN) =	12.70	Flujo (mm)=	2.2
M4	6.1	%	Estabilidad (KN) =	12.16	Flujo (mm)=	2.4
M1	6.5	%	Estabilidad (KN) =	10.96	Flujo (mm)=	1.9
M2	6.5	%	Estabilidad (KN) =	10.76	Flujo (mm)=	1.7
M3	6.5	%	Estabilidad (KN) =	10.58	Flujo (mm)=	1.6
M4	6.5	%	Estabilidad (KN) =	10.61	Flujo (mm)=	1.7

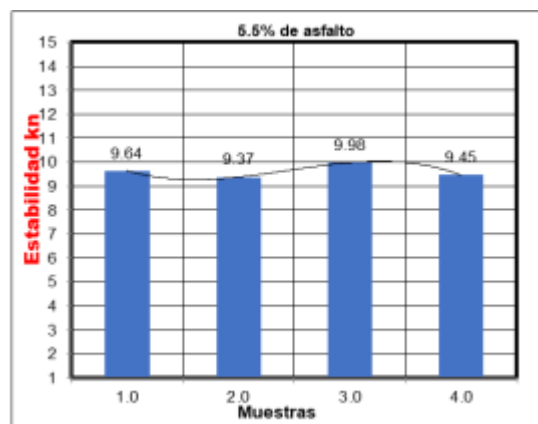
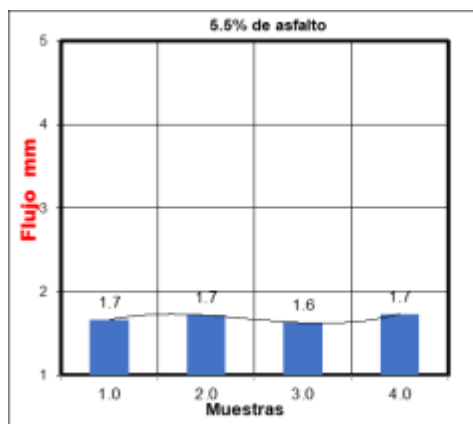


Fig. 14 Diseño MAC al 5.5% Flujo 1.7 max.1.6 min. y estabilidad 9.98 máx. 9.37 min

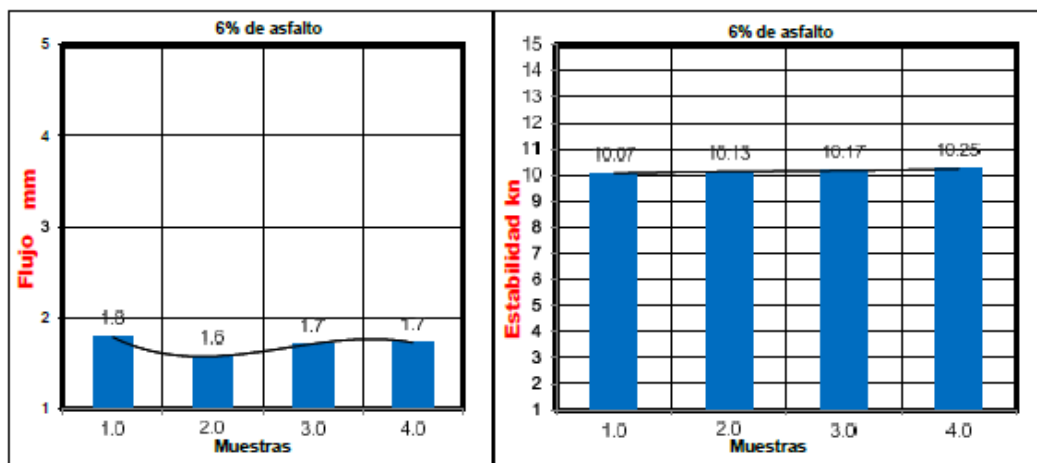


Fig. 15 Diseño MAC al 6% Flujo 1.8 máx. 1.6 mín y estabilidad 10.25 máx. 10.07 mín.

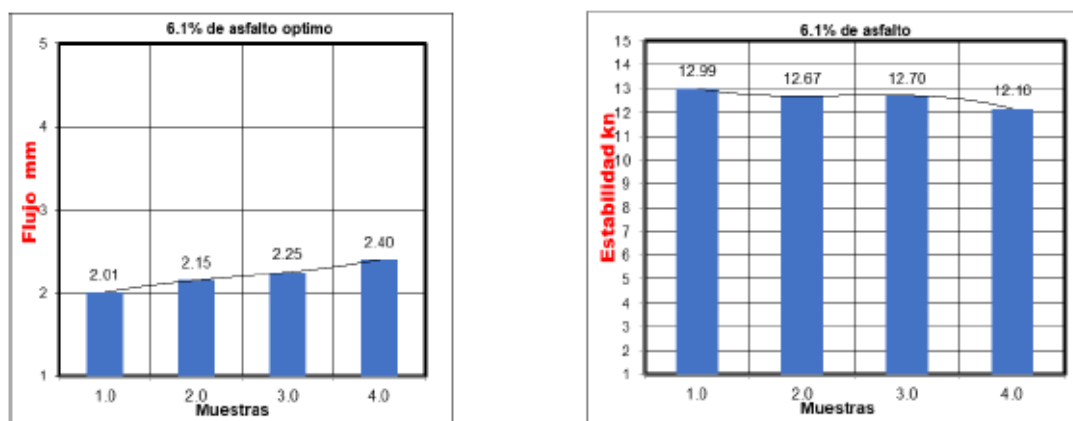


Fig. 16 Diseño MAC al 6.1% Flujo 2.4 máx. 2.01 mín. y estabilidad 12.99 máx. 12.10 mín. este resultado es el optimo

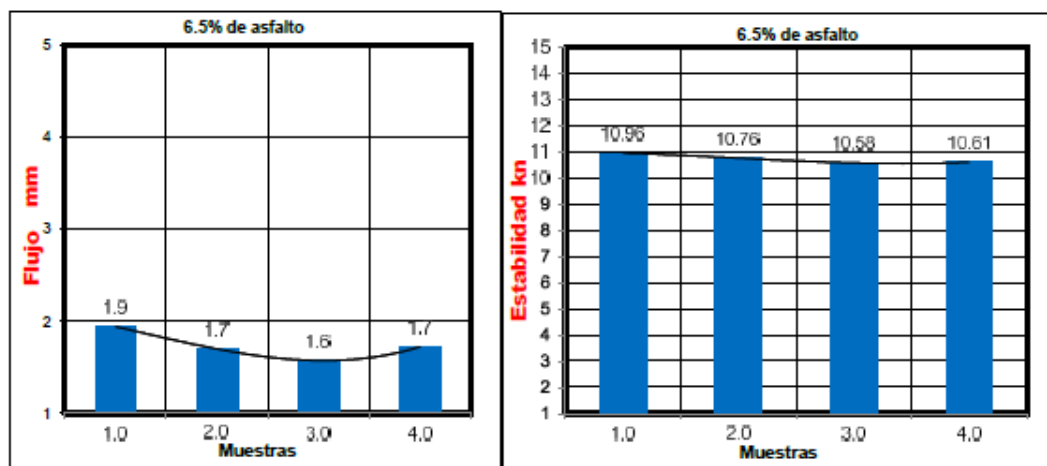


Fig. 17 Diseño MAC 6.5% Flujo 1.9 máx. 1.6 mín y estabilidad 10.96 máx. 10.58 mín.

En el segundo grupo se utilizó mezcla convencional determinándose que el 6.1% presentó el mejor comportamiento mecánico, con una estabilidad promedio de 12.63 kN y un flujo de 2.18 mm. Así que el patrón a utilizar sería el de 6.1 % de asfalto convencional.

La mezcla asfáltica modificada con 1.5 % de aceite de motor reciclado alcanzó una estabilidad Marshall promedio de aproximadamente 13.69 kN y un valor de flujo promedio de 2.32 mm o a 2.7 mm. Al comparar estos resultados con las especificaciones del EG-2013 del MTC para mezclas destinadas a tráfico pesado, se observa que la estabilidad obtenida supera ampliamente el valor mínimo exigido de 8 kN, mientras que el flujo se mantiene dentro del rango admisible de 2 a 4 mm, Estos resultados indican que la mezcla evaluada cumple con los criterios normativos establecidos para este tipo de aplicación.

3.13 Análisis de costos m³

Tabla 23 Análisis de costo por metro cubico

Tipo de mezcla	Costo	o por m ³ (2400	Costo por m ³ (\$/.)
		kg)	
		Costo por kg (\$/.)	
Convencional		0.33585	806.04
Modificada con WEO		0.33274	798.57

- Diferencia por m³: \$/ 806.04 – 798.57 = \$/ 7.47
- Ahorro porcentual: $(7.47 / 806.04) \times 100 = 0.93\%$

El análisis económico realizado muestra una ligera reducción en el costo de la mezcla asfáltica modificada con (WEO). Esta disminución se explica porque el WEO actúa como sustituto parcial del ligante asfáltico convencional, cuyo costo es significativamente mayor. Debido a que el WEO es un residuo con bajo valor comercial, su incorporación permite reducir el costo total de la mezcla sin afectar el desempeño mecánico evaluado mediante el ensayo Marshall.”

3.14 Prueba de hipótesis específica de investigación

Para poder verificar si los valores de resistencia de la mezcla (estabilidad y flujo) adicionados con diferentes porcentajes de aceite de motor reciclado difieren significativamente se utilizará el análisis de varianza unidireccional ANOVA; cabe mencionar que para identificar las diferencias específicas entre los grupos se realizará la prueba POST HOC – Tukey.

En la tabla 21, se denominará como variable “A” al diseño de mezcla asfáltica de 6.1% patrón, la variable “B” al diseño de mezcla asfáltica de 5.5% de asfalto virgen, variable “C” al diseño de mezcla asfáltica de 6.0% de asfalto virgen, “D” al diseño de mezcla asfáltica de 6.5% de asfalto virgen.

En la tabla 22, se denominará como variable “A” al diseño de mezcla asfáltica de 6.1% patrón, la variable “B” al diseño de mezcla asfáltica de 5.5% de asfalto virgen, variable “C” al diseño de mezcla asfáltica de 6.0% de asfalto virgen, “D” al diseño de mezcla asfáltica de 6.5% de asfalto virgen.

En la tabla 23, se denominará como variable “A” al diseño de mezcla asfáltica, la variable “B” al diseño de mezcla asfáltica modificada con WEO de 4%, variable “C” al diseño de mezcla asfáltica modificada con WEO de 1.5%, “D” al diseño de mezcla asfáltica modificada con WEO de 2%.

En la tabla 24, se denominará como variable “A” al diseño de mezcla asfáltica, la variable “B” al diseño de mezcla asfáltica modificada con WEO de 4%, variable “C” al diseño de mezcla asfáltica modificada con WEO de 1.5%, “D” al diseño de mezcla asfáltica modificada con WEO de 2%.

Tabla 24 Resultados de la estabilidad del diseño de mezcla asfáltica para el análisis estadístico.

Nro.	Estabilidad (KN)			
	A	B	C	D
1	12.99	9.64	10.07	10.96
2	12.67	9.37	10.13	10.76
3	12.70	9.98	10.17	10.58
4	12.16	9.45	10.25	10.61

Tabla 25 Resultados del flujo del diseño de mezcla asfáltica para el análisis estadístico.

Nro.	Estabilidad (KN)			
	A	B	C	D
1	2.01	1.89	1.51	2.07
2	2.15	1.81	1.70	1.79
3	2.25	1.69	1.84	1.25
4	2.4	1.43	1.59	1.82

Tabla 26 Resultados de la estabilidad para el análisis estadístico.

Nro.	Estabilidad (KN)			
	A	B	C	D
1	12.988	7.019	13.434	8.726
2	12.674	7.848	13.930	8.783
3	12.701	7.616	13.644	8.312
4	12.162	7.173	13.736	8.577

Tabla 27 Resultados del flujo para el análisis estadístico.

Nro.	flujo (mm)			
	A	B	C	D
1	2.010	1.116	2.700	1.446
2	2.150	1.270	2.600	1.871
3	2.250	1.210	2.700	1.403
4	2.400	1.134	2.800	1.665

3.15 Hipótesis nula e hipótesis alterna

Para la hipótesis nula (H_0), fue planteada de la siguiente forma: “Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente no mejoró en los parámetros de diseño del método Marshall”.

Con respecto a la hipótesis alterna (H_a) se tiene: “Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente si mejoró significativamente en los parámetros de diseño del método Marshall”.

Por lo tanto, se tiene:

$$H_0: U_A = U_B = U_C = U_D$$

$$H_a: U_A \neq U_B; U_A \neq U_C; U_A \neq U_D$$

3.16 Análisis estadístico Anova

Tabla 28 Resultados del análisis estadístico ANOVA (MAC estabilidad)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico(F)
Entre las muestras	20.76	3	6.9195	123.08	0.00000000281	3.49
Dentro de las muestras	0.6746	12	0.0562			
Total	21.433	15				

Tabla 29 Resultados del análisis estadístico ANOVA (MAC flujo)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico(F)
Entre las muestras	0.77	3	0.2559			
Dentro de las muestras	0.6217	12	0.0518	4.94	0.01845868233	3.49
Total	1.389	15				

Tabla 30 Resultados del análisis estadístico ANOVA (estabilidad)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico(F)
Entre las muestras	111.20	3	37.0677	420.60	0.0000000000204	3.49
Dentro de las muestras	1.0576	12	0.0881			
Total	112.261	15				

Tabla 31 Resultados del análisis estadístico ANOVA (flujo)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico(F)
Entre las muestras	5.35	3	1.7826			
Dentro de las muestras	0.2564	12	0.0214	83.43	0.00000002636	3.49
Total	5.604	15				

El nivel de significancia asumido queda establecido en 0.05 (5%). El valor crítico, para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a la tabla estadística ANOVA, para un nivel de significancia de 0.05 queda definido de la siguiente manera:

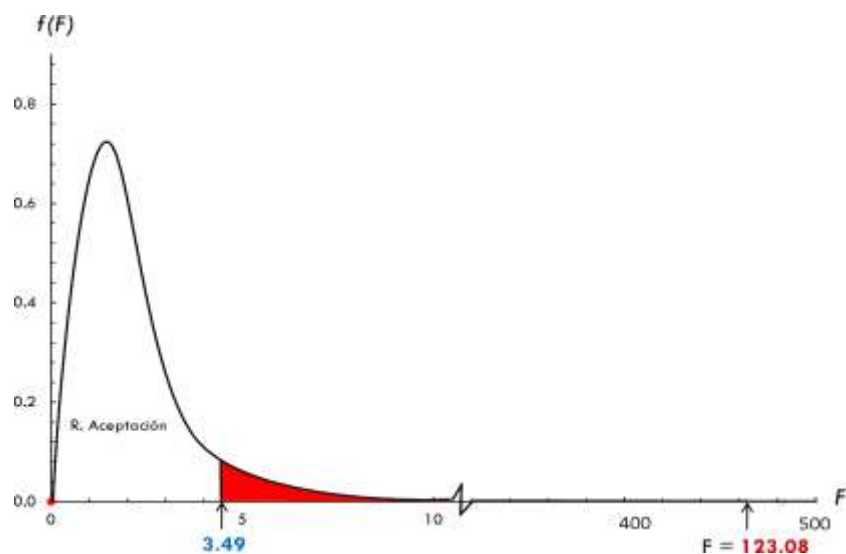


Fig. 18 Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (MAC estabilidad).

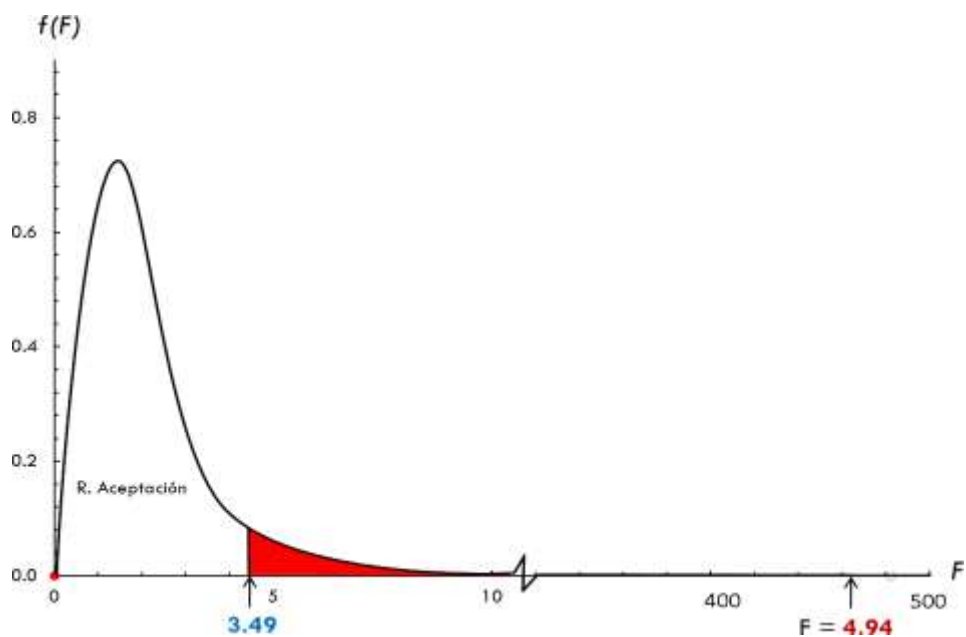


Fig. 19 Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (MAC flujo).

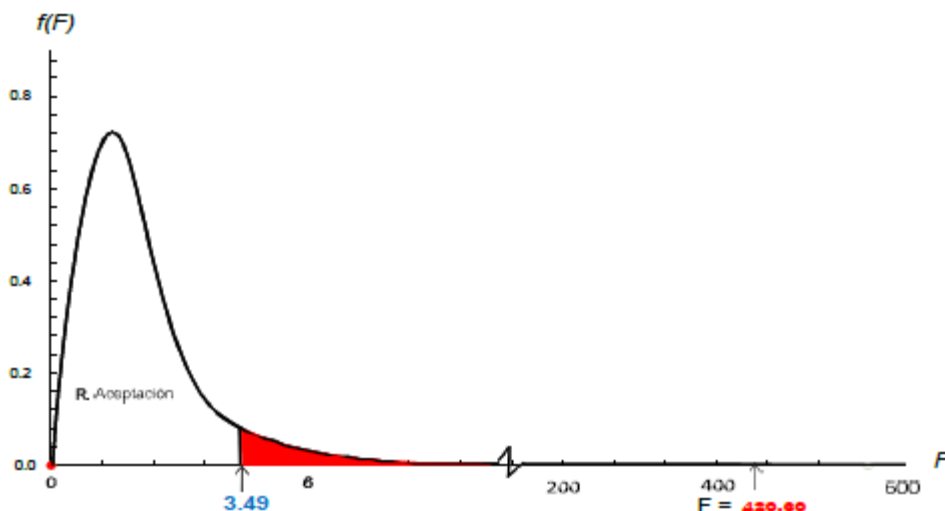


Fig. 20 Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (estabilidad).

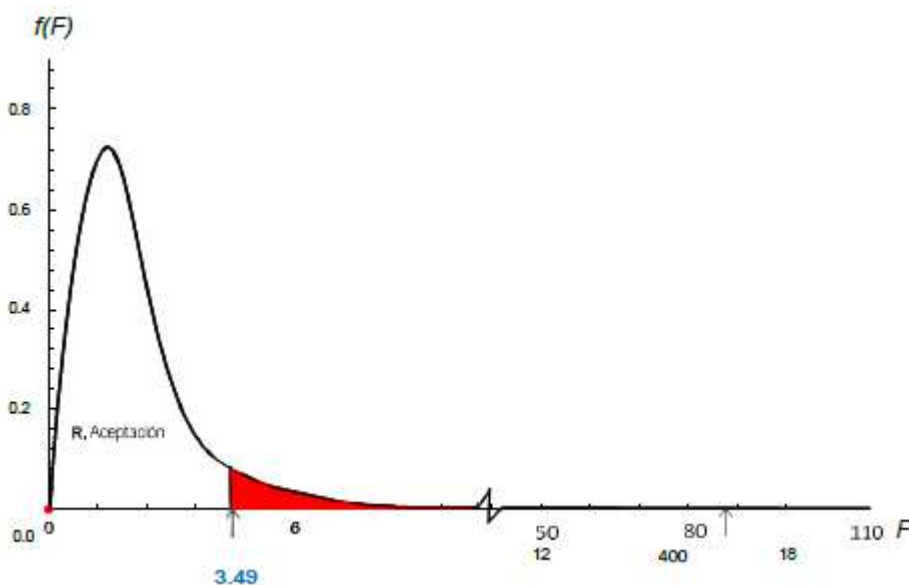


Fig. 21 Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (flujo).

Toma de decisión

En función a nuestra figura 18 el valor estadístico de la prueba ANOVA determinado es $F = 123.08$ la cual cae fuera de la región de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

En función a nuestra figura 19 el valor estadístico de la prueba ANOVA determinado es $F = 4.94$ la cual cae fuera de la región de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

En función a nuestra figura 20 el valor estadístico de la prueba ANOVA determinado es $F = 420.60$ la cual cae fuera de la región de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

En función a nuestra figura 21 el valor estadístico de la prueba ANOVA determinado es $F = 83.43$ la cual cae fuera de la región de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

La decisión es que se rechaza la hipótesis nula, al afirmar que “existe diferencias” entre las variables A, B, C y D con respecto a aceite de motor reciclado determinada.

3.17 Prueba POST HOC-TUKEY

Tabla 32 Significancia entre los grupos A, B, C, D (MAC estabilidad).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu A - \mu B$	3.02	Significativo
$\mu A - \mu C$	2.48	Significativo
$\mu A - \mu D$	1.91	Significativo
$\mu B - \mu C$	0.54	Significativo
$\mu B - \mu D$	1.12	Significativo
$\mu C - \mu D$	0.57	Significativo

Tabla 33 Significancia entre los grupos A, B, C, D (MAC flujo).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu A - \mu B$	0.50	Significativo
$\mu A - \mu C$	0.54	Significativo
$\mu A - \mu D$	0.47	No Significativo
$\mu B - \mu C$	0.04	No Significativo
$\mu B - \mu D$	0.02	No Significativo
$\mu C - \mu D$	0.07	No Significativo

Tabla 34 Significancia entre los grupos A, B, C, D (estabilidad).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu A - \mu B$	5.22	Significativo
$\mu A - \mu C$	1.05	Significativo
$\mu A - \mu D$	4.03	Significativo
$\mu B - \mu C$	6.27	Significativo
$\mu B - \mu D$	1.19	Significativo
$\mu C - \mu D$	5.09	Significativo

Tabla 35 Significancia entre los grupos A, B, C, D (flujo).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu A - \mu B$	1.02	Significativo
$\mu A - \mu C$	0.50	Significativo
$\mu A - \mu D$	0.61	Significativo
$\mu B - \mu C$	1.52	Significativo
$\mu B - \mu D$	0.41	Significativo
$\mu C - \mu D$	1.10	Significativo

Toma de decisión

En función a la tabla 29, donde podemos resaltar en lo siguiente:

$\mu A \neq \mu B$, La variable A (diseño de mezcla asfáltica 6.1%) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable B (diseño de mezcla asfáltica 5.5 % asfalto virgen).

$\mu A \neq \mu C$, La variable A (diseño de mezcla asfáltica 6.1%) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable C (diseño de mezcla asfáltica 6.0 % asfalto virgen).

$\mu A \neq \mu D$, La variable A (diseño de mezcla asfáltica 6.1%) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable D (diseño de mezcla asfáltica 6.5 % asfalto virgen).

En función a la tabla 30, donde podemos resaltar en lo siguiente:

$\mu A \neq \mu B$, La variable A (diseño de mezcla asfáltica 6.1%) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable B (diseño de mezcla asfáltica 5.5 % asfalto virgen).

$\mu A \neq \mu C$, La variable A (diseño de mezcla asfáltica 6.1%) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable C (diseño de mezcla asfáltica 6.0 % asfalto virgen).

$\mu A \neq \mu D$, La variable A (diseño de mezcla asfáltica 6.1%) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable D (diseño de mezcla asfáltica 6.5 % asfalto virgen).

En función a la tabla 31, donde podemos resaltar en lo siguiente:

$\mu A \neq \mu B$, La variable A (mezcla) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable B (mezcla asfáltica modificada con WEO de 4 %).

$\mu A \neq \mu C$, La variable A (mezcla) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable C (mezcla asfáltica modificada con WEO de 1.5 %).

$\mu A \neq \mu D$, La variable A (mezcla) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable D (mezcla asfáltica modificada con WEO de 2 %).

En función a la tabla 32, donde podemos resaltar en lo siguiente:

$\mu A \neq \mu B$, La variable A (mezcla) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable B (mezcla asfáltica modificada con WEO de 4%).

$\mu A \neq \mu C$, La variable A (mezcla) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable C (mezcla asfáltica modificada con WEO de 1.5 %).

$uA \neq uD$, La variable A (mezcla) muestra una diferencia muestral significativa a comparación de la variable D (mezcla asfáltica modificada con WEO de 2 %).

Se acepta la hipótesis alterna, que afirma que los resultados obtenidos de parámetros de resistencia de la mezcla asfáltica, la estabilidad y flujo mejora significativamente con la adición de aceite de motor reciclado.

4. Discusiones

La sostenibilidad del estudio se aborda desde un enfoque preliminar basado en la reutilización de (WEO) como alternativa para la modificación de la mezcla asfáltica. Si bien la investigación no incluye una evaluación integral de sostenibilidad que considere análisis económico detallado, ni la cuantificación del impacto ambiental y social, los resultados obtenidos permiten identificar un aporte potencial a la gestión de residuos y a la economía circular, al promover el aprovechamiento de un residuo potencialmente contaminante dentro de materiales de infraestructura vial.

Se realizaron los ensayos correspondientes para caracterizar los materiales empleados en el diseño de la mezcla asfáltica, como los agregados, el cemento asfáltico y el WEO, con el objetivo de verificar su idoneidad para su uso. En relación con el ensayo de abrasión Los Ángeles, se obtuvo un índice de desgaste promedio de 22.8 %, valor que se encuentra dentro del límite especificado por la norma EG-2013, la cual establece máximo admisible del 40% para una altitud de ≤ 3.000 msnm. Esto se valida con la investigación realizada por Calva Herrera & Raffo Suclupe, [1]

Para llevar a cabo las pruebas con el ensayo Marshall, se crearon dos grupos de briquetas. En el primer grupo, se usaron las briquetas de la muestra patrón para establecer el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, mientras que en el segundo grupo se incluyeron briquetas con aceites reciclados en proporciones de 1.5%, 2%, 4% y 5.5%. La estabilidad de la muestra patrón fue de 12.63 kN, mientras que la muestra con la incorporación del 1.5% de aceite reciclado alcanzó 13.69 kN. Esto indica una diferencia de 1.06 kN en comparación con la muestra patrón, lo que sugiere que la incorporación del 1.5% de aceite reciclado mejora la estabilidad del diseño de la mezcla patrón. En el caso del 2% de aceite reciclado, se registró una estabilidad de 8.60 kN, lo que mostró una variación de 4.03 kN respecto a la muestra patrón, lo que indica una disminución en la estabilidad del diseño. Para el 4% de aceite reciclado, el resultado fue de 7.41 kN, lo que indica una diferencia de 5.22 kN con la muestra patrón, lo que también indica una disminución en la estabilidad del diseño. Finalmente, al usar un 5.5% de aceite reciclado, se obtuvo un resultado de 7.03 kN, lo que representa una variación de 5.6 kN. De lo indicado, se concluye que el mejor porcentaje de aceite reciclado para su uso en mezclas asfálticas es del 1.5%. Esto se valida con Calva Herrera & Raffo Suclupe [1] que manifiesta que con la incorporación del 0.5 %. Esta diferencia puede mostrarse a variaciones en las características de los materiales utilizados, particularmente en la absorción de los agregados, el tipo de ligante asfáltico utilizado y las condiciones de dosificación de la mezcla. En el presente estudio, la mayor absorción del agregado fino podría haber influido en la demanda de ligante efectivo, requiriendo un mayor contenido de WEO para alcanzar un desempeño mecánico adecuado. Asimismo, diferencias en el proceso de incorporación del WEO y en las condiciones experimentales pueden haber contribuido a la variación en el porcentaje óptimo.

Los resultados del flujo mostraron que en la muestra patrón se logró un resultado promedio de 2.18 mm y en la muestra que se modificó con diferentes porcentajes de aceite reciclado que son 1.5%, 2%, 4% y 5.5%. En la muestra que se modificó con 1.5% de aceite reciclado, se obtuvo un resultado promedio de 2.7 mm, lo que significa que hubo una diferencia de 0.52 mm con la muestra patrón. Se

deduce que al agregar 1.5% de aceite reciclado, el flujo del diseño patrón aumenta; en la muestra modificado con 2% de aceite reciclado, el resultado promedio fue de 1.63 mm, donde se encontró una diferencia de 0.5 mm con respecto a la muestra patrón, concluyendo que el flujo del diseño patrón disminuye; en la muestra modificado con 4% de aceite reciclado, también se obtuvo un resultado promedio de 1.65 mm, con una diferencia de 0.53 mm comparado con la muestra patrón, concluyendo nuevamente que el flujo del diseño patrón disminuye; en la muestra modificado con 5.5% de aceite reciclado, el resultado promedio fue de 1.65 mm, con una diferencia de 0.53mm. De lo anterior se puede ver que, al aumentar el porcentaje de aceite reciclado, el flujo se reduce. Por lo tanto, consideramos que el porcentaje ideal para la mezcla asfáltica es del 1.5%, ya que no presenta mucha diferencia respecto a la muestra patrón. Al incorporar aceite de motor reciclado en proporciones de 1.5 %, 2%, 4 % y 5.5 % en mezclas asfálticas, se observó que el mejor desempeño se logró con el 1.5 %, alcanzando una estabilidad de 13.69 kN, con respecto a la muestra patrón que tuvo una estabilidad de 12.63 kN teniendo una diferencia de 1.06 kN mientras tanto al incorporar 2% de aceite reciclado, tenemos una estabilidad de 8.60 kN; Al incorporar un 4 % de aceite de motor reciclado, se obtuvo una estabilidad de 7.41 kN; y al incorporar un 5.5% de aceite reciclado, se obtuvo una estabilidad de 5.60 kN. Estos resultados van relacionados a los obtenidos por Oswaldo & Montes, [10] quienes también concluyeron que un 5 % de adición es excesivo, ya que reduce significativamente la estabilidad. En su caso, encontraron que el 3 % era el más adecuado. Por lo tanto, se confirma que usar aceite reciclado en pequeñas cantidades puede ser beneficioso, pero que superar ciertos límites compromete seriamente el rendimiento de la mezcla. Esta coincidencia fortalece la idea de que el uso responsable de este residuo puede ser una alternativa técnica y ambientalmente viable.

5. Conclusiones

1. Se llevó a cabo la caracterización de los agregados gruesos y finos, así como la dosificación correspondiente de los mismos. Los resultados obtenidos a través de los distintos ensayos realizados cumplieron con los parámetros establecidos por la normativa EG-2013, lo que confirma su aptitud para ser utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica.
2. Para determinar el porcentaje óptimo de cemento de asfalto con grado de penetración 120/150 para nuestra mezcla asfáltica en caliente, se crearon cuatro grupos de briquetas, cada una de las cuales tenía diferentes cantidades de cemento asfáltico. De estos, los resultados permiten concluir que el porcentaje óptimo era de 6.1%, el cual también debía cumplir con los parámetros establecidos por la norma.
3. En base a los resultados de estabilidad, se observa que con un 1.5% de aceite reciclado, hay una variación de 1.06 kN y en el flujo se presenta una variación de 0.52 mm en relación a la muestra patrón. Como se puede observar en el ensayo de Marshall, los resultados de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica modificada, al añadir un 1.5% de aceite de motor reciclado, muestran una estabilidad de 13.69 KN y un flujo promedio de 2.7 mm. Por lo tanto, se considera que es adecuada para su uso, ya que cumple con la norma EG-2013.
4. La incorporación de aceite de motor reciclado (WEO) en la mezcla asfáltica representa una alternativa con potencial beneficio ambiental, al promover la reutilización de un residuo peligroso que podría generar contaminación del suelo y agua si no es gestionado adecuadamente. Asimismo, el análisis económico preliminar evidenció una reducción aproximada del 0.93 % en el costo de la mezcla, atribuida a la sustitución parcial del ligante asfáltico. No obstante, estos resultados deben

interpretarse como un enfoque inicial, recomendándose estudios complementarios que evalúen el impacto ambiental y económico.

6. Referencias

- [1]. Calva Herrera, L. O., & Raffo Suclupe, C. L. (2023). Evaluación físico-mecánica de las mezclas asfálticas mediante la adición de aceite reciclado de motor. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1-10. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.55868>
- [2]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Especificaciones Generales para Construcción EG-2013. MTC E 205 y E 206: Peso Específico y Absorción de Agregados Finos y Gruesos pag. 309;312. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- [3]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Especificaciones Generales para Construcción EG-2013. MTC E 114 Metodo De Ensayo Estandar Para El Valor Equivalente De Arena De Suelos Y Agregado Fino.pg. 95 https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- [4]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Especificaciones Generales para Construcción EG-2013. MTC E 111 Determinación Del Límite Plástico E Índice De Plasticidad. Pag. 72. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- [5]. Jwaida, Z., Dulaimi, A., Bahrami, A., Mydin, M. A. O., Özkılıç, Y. O., Jaya, R. P., & Wang, Y. (2024). Revisión analítica sobre el uso potencial de aceite de motor usado en la ingeniería de asfalto y pavimentos. *Casos de estudio en materiales de construcción*, 20, e02930. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2024.E02930>
- [6]. Liu, S., Peng, A., Wu, J., & Zhou, S. B. (2018). El aceite de motor residual influye en las propiedades químicas y reológicas de diferentes aglutinantes asfálticos. *Construcción y Materiales de Construcción*, 191, 1210-1220. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.10.126>
- [7]. Liu, Z., Li, S., & Wang, Y. (2022). Características del asfalto modificado por aceite de motor usado / ácido polifosfórico: Propiedades convencionales, reológicas a alta temperatura y mecanismo. *Revista de Producción Limpia*, 330, 129844. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129844>
- [8]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales* (MTC, Ed.). [ransparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
- [9]. Nazri Borhan, M., Suja, F., Ismail, A., & Atiq Rahmat, R. O. (2022). Hormigón asfáltico de mezcla fría modificado con aceite de cilindro usado. *Construction*. <https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2007.3485.3491>
- [10]. Montealegre Ardila, F. H., Varon Montes, G. O., & Ramos Campiño, L. V. (2018).

Impacto del aceite quemado de motor en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas que contienen pavimento asfáltico recuperado RAP [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia].
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/6189>

- [11]. Paliukaite, M., Assuras, M., & Hesp, S. A. M. (2016). Efecto de los fondos de aceite de motor reciclado en las propiedades de falla dúctil de cementos asfálticos rectos y modificados con polímeros. *Construcción y Materiales de Construcción*, 126, 190-196.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.08.156>
- [12]. Romero Pumayali, J. (2023). Mezclas asfálticas recicladas en frío para optimizar costos en pavimentos de bajo volumen de tránsito [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma.
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/6887>
- [13]. Xu, P., Gao, J., Pei, J., Chen, Z., Zhang, J., & Li, R. (2021). Investigación sobre asfalto de caucho altamente disuelto preparado utilizando un método de adición de aceite de motor residual compuesto y desulfuración por microondas. *Construcción y Materiales de Construcción*, 282, 122641. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122641>

Anexos

Anexo 1. Evidencia de Sumisión

19/05/26, 17:44

Correo: edgar.rodriguez - Outlook



RV: International Journal of Geo-Engineering - Receipt of Manuscript 'Influence of the...'

Desde: edgar.rodriguez <edgar.rodriguez@upeu.edu.pe>

Fecha: Mar 18/05/2026 17:37

Para: christian.arizaca <christian.arizaca@upeu.edu.pe>

De: Springer Nature <do-not-reply@springernature.com>

Enviado: martes, 19 de mayo de 2026 17:01

Para: edgar.rodriguez <edgar.rodriguez@upeu.edu.pe>

Asunto: International Journal of Geo-Engineering - Receipt of Manuscript 'Influence of the...'

Ref: Submission ID 9f17741-1869-4d4b-a674-95943f4ed9c3

Dear Dr Rodriguez: Uscamayta,

Please note that you are listed as a co-author on the manuscript "Influence of the incorporation of recycled engine oil as an alternative in the design of hot asphalt mixtures", which was submitted to International Journal of Geo-Engineering on 19 May 2026 UTC.

If you have any queries related to this manuscript please contact the corresponding author, who is solely responsible for communicating with the journal.

Kind regards,

Editorial Assistant

International Journal of Geo-Engineering

Anexo 2. Perfil de Proyecto de tesis



"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN N° 0665-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña 27 de agosto de 2024

VISTO:

El expediente de **Christian Arizaca Hanceo**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610670 y **Edgar Zenon Rodríguez Uscamayta** identificado(a) con Código Universitario N° 201610648, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Christian Arizaca Hanceo** y **Edgar Zenon Rodríguez Uscamayta**, han solicitado la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente," y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 27 de agosto de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Leonel Chahuares Paucar** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Herson Duberly Pari Cusi** y **Ing. Moises Araca Chile**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas
Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Ph.D. Silvia Pilco Quesada
Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

CC:
-Intervenido
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Anexo 3. Informe de Ensayo de laboratorio

MZ PROJECT S.R.L - LABORATORIO QUÍMICO

Análisis fisicoquímicos, microbiológicos de suelos, aguas, agregados y otros
Venta de materiales y reactivos de laboratorio

3. INFORME DE ENSAYO

N° de Referencia:	8025	Registrada en:	MZ PROJECT	Cliente (^):	Christian Arizaca Hancoo- Edgar Zenon Rodríguez Uscamayta
Análisis:	Físico-Químico	Centro Análisis:	MZ PROJECT	Domicilio (^):	-
Tipo de muestra:	Aceite	Fecha Recepción:	02/11/2025	Contrato:	-
Fecha Inicio:	02/11/2025	Fecha Fin:	11/11/2025	Cliente 3° (^):	-
Descripción (^):	Aceite de Motor				
Fecha Muestreo:	11/10/2025	Muestreado por:	MZ PROJECT	Este:	-
Lugar de Muestreo:	Automotriz Ramos			Norte:	-
Punto de Muestreo:	Automotriz Ramos				
Nombre del Proyecto:	Influencia de la incorporación del aceite de motor reciclado como alternativa para el diseño de mezcla asfáltica en caliente				

A continuación, se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los resultados reflejados en el presente informe se refieren únicamente a la muestra tal como es recibida en el laboratorio y sometida a ensayo. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio MZ PROJECT no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, tanto la asociada a la toma de muestras realizada por él como a otros datos descriptivos, marcados con (^) y que se encuentran fuera de nuestro alcance de Acreditación.

RESULTADOS ANALÍTICOS				
Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	Método
Parámetro Físico - Químico				
Viscosidad 60 °C	110	cSt		ASTM D445 / AASHTO T201
Punto de inflamación	178	°C		ASTM D92 / AASHTO T48
Punto de combustión	205	°C		ASTM D92 / AASHTO T48
Densidad a 15,6°C	0.896	g/mL		ASTM D70 / AASHTO T228
Gravedad 15.6 °C	26.4	°API		ASTM D287 / AASHTO T 44
Agua	<0.05	% vol.		ASTM D95 / AASHTO T 55
Sedimentos	0.3	% vol.		ASTM D2273 / AASHTO T 176
Insolubles en Benceno	1.8	% peso		ASTM D893 / AASHTO T 164
Solubles en gasolina	>98	% vol.		ASTM D893 / AASHTO T 44
Punto de ignición	220	°C		ASTM D92 / AASHTO T48

Nota. A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. CMA: Concentración Máxima Admisible. Los resultados emitidos, no han sido corregidos con valores de recuperación. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

MZ PROJECT S.R.L.
RUC: 2052130371
Miguel Angel Collanta Carrasco
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

MZ PROJECT S.R.L.
RUC: 2052130371
Ing. Phol Jhonor Velez Oquenaya
ESPECIALISTA DE AREA

MZ PROJECT S.R.L.
RUC: 2052130371
Zeudy Juliet Gomez Bejarano
GERENTE GENERAL

MÁS INFORMACIÓN:

☎ 980 978 796

✉ mz.project.2401@gmail.com

📍 3° San Sebastián - Cusco

Anexo 4. Certificado



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

MT - LF - 018 -2026

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

1. Expediente	220006	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	INGENIEROS & ARQUITECTOS CENTCICON S.A.C.	
3. Dirección	Km.5 Parc. Esquen - San Roman - Juliaca - PUNO	
4. Equipo	PRENSA MULTIENSAYOS	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad	50 kN	
Marca	UTEST	
Modelo	UTM-0108.SMPR	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Número de Serie	20/000050	
Procedencia	Turquia	
Identificación	NO INDICA	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Indicación	DIGITAL	
Marca	NO INDICA	
Modelo	NO INDICA	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	0,01 kN	
5. Fecha de Calibración	2026-01-14	

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2026-01-14

Firmado digitalmente por
Williams Pérez
Fecha: 2026-01-16 12:33:46 -05'00'



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego , SMP , LIMA
Telf: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.com
metrologia@metrologiatecnicas.com
www.metrologiatecnicas.com

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**MT - LF - 018 -2026**

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones de la empresa TÉCNICAS CP S.A.C.
Av. Santa Ana Mz H lote 2 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	25,1 °C
Humedad Relativa	56 % HR	57 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2020-1 95857 / 2020-1 6727	Celda de carga calibrado a 20 tnf con incertidumbre del orden de 0,5 %	LEDI-PUCP INF-LE 024-21B

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- El equipo trabaja con una celda de carga, Marca: KELI, Modelo: LFSC-A y Serie: 84D6174
- La calibración se realizó hasta el 90% de la capacidad del equipo por seguridad.

Anexo 5. Informe de Ensayo de laboratorio

 UNIVERSIDAD PERUNA UNIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																																																																																																																															
TÍTULO DE TESIS	: "Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente"																																																																																																																														
SOLICITANTE	: Bach. Arizaca Hancoo Christian y Bach. Rodríguez Uscamayta Edgar Zenon																																																																																																																														
Procedencia de muestra	: Cantera Río Ayaviri																																																																																																																														
Descripción de muestra	: Arena Natural																																																																																																																														
Fecha de ejec. de ensayo	: 02/10/2024																																																																																																																														
ENSAYO:	Nro de Muestra : M-01																																																																																																																														
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	Clasificación SUCS : -																																																																																																																														
NORMA ASTM - D 422	Clasificación AASHTO : -																																																																																																																														
	Estado de la Muestra : Alterada																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TAMICES ASTM</th> <th>ABERTURA (mm)</th> <th>Peso Retenido (gr)</th> <th>% Retenido Parcial</th> <th>% Retenido Acumulado</th> <th>% que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76.2</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.8</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.1</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.4</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.05</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.7</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.53</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>6.35</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>No4</td><td>4.75</td><td>53.00</td><td>5.64</td><td>5.64</td><td>94.36</td></tr> <tr><td>No8</td><td>2.36</td><td>178.80</td><td>19.04</td><td>24.69</td><td>75.31</td></tr> <tr><td>No10</td><td>2.00</td><td>51.20</td><td>5.45</td><td>30.14</td><td>69.86</td></tr> <tr><td>No16</td><td>1.18</td><td>132.50</td><td>14.11</td><td>44.25</td><td>55.75</td></tr> <tr><td>No30</td><td>0.60</td><td>188.90</td><td>20.12</td><td>64.37</td><td>35.63</td></tr> <tr><td>No40</td><td>0.42</td><td>109.70</td><td>11.68</td><td>76.05</td><td>23.95</td></tr> <tr><td>No 50</td><td>0.30</td><td>87.00</td><td>9.27</td><td>85.31</td><td>14.69</td></tr> <tr><td>No80</td><td>0.18</td><td>60.50</td><td>6.44</td><td>91.76</td><td>8.24</td></tr> <tr><td>No100</td><td>0.15</td><td>27.10</td><td>2.89</td><td>94.64</td><td>5.36</td></tr> <tr><td>No200</td><td>0.07</td><td>23.00</td><td>2.45</td><td>97.09</td><td>2.91</td></tr> <tr><td>BASE</td><td></td><td>27.30</td><td>2.91</td><td>100.00</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td><td>939.00</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.0	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0	1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.0	1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.0	3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.0	1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.0	3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.0	1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.0	No4	4.75	53.00	5.64	5.64	94.36	No8	2.36	178.80	19.04	24.69	75.31	No10	2.00	51.20	5.45	30.14	69.86	No16	1.18	132.50	14.11	44.25	55.75	No30	0.60	188.90	20.12	64.37	35.63	No40	0.42	109.70	11.68	76.05	23.95	No 50	0.30	87.00	9.27	85.31	14.69	No80	0.18	60.50	6.44	91.76	8.24	No100	0.15	27.10	2.89	94.64	5.36	No200	0.07	23.00	2.45	97.09	2.91	BASE		27.30	2.91	100.00	0.00	TOTAL		939.00				DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Peso Inicial : 939.0 gr. Peso Lavado : 911.7 gr. Peso Perdido : 27.3 gr. CARACT. GRANULOMETRICAS D10 = 0.22 D30 = 0.52 D60 = 1.45 CU = 6.57 CC = 0.86
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa																																																																																																																										
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
1/2"	12.7	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.0																																																																																																																										
No4	4.75	53.00	5.64	5.64	94.36																																																																																																																										
No8	2.36	178.80	19.04	24.69	75.31																																																																																																																										
No10	2.00	51.20	5.45	30.14	69.86																																																																																																																										
No16	1.18	132.50	14.11	44.25	55.75																																																																																																																										
No30	0.60	188.90	20.12	64.37	35.63																																																																																																																										
No40	0.42	109.70	11.68	76.05	23.95																																																																																																																										
No 50	0.30	87.00	9.27	85.31	14.69																																																																																																																										
No80	0.18	60.50	6.44	91.76	8.24																																																																																																																										
No100	0.15	27.10	2.89	94.64	5.36																																																																																																																										
No200	0.07	23.00	2.45	97.09	2.91																																																																																																																										
BASE		27.30	2.91	100.00	0.00																																																																																																																										
TOTAL		939.00																																																																																																																													



CURVA GRANULOMETRICA



TAMAÑO DEL GRANO EN mm

% QUE PASA EN PESO

*Las muestras fueron extraídas y puestas en laboratorio por los leistas, debidamente etiquetadas y acompañadas de sus respectivas descripciones

**Los ensayos fueron realizados por los leistas, siguiendo los procedimientos establecidos en el laboratorio. Los resultados han sido procesados para su correspondiente certificación

	UNIVERSIDAD PERUNA UNIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
---	---

TÍTULO DE TESIS	: "Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente"
TESISTAS	: Bach. Arizaca Hancoo Christian y Bach. Rodríguez Uscamayta Edgar Zenon
Procedencia de muestra	: Material combinado
Descripción de muestra	: Arena Chancada + arena natural
Fecha de ejec. De ensayo	: 03/10/24

ENSAYO:	Nro de Muestra	: M-01
CONTENIDO DE HUMEDAD	Método de secado	: Horno T°110±5°C
MTC E-108		

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
DATOS	PRUEBA 01		
N° de tara	T-001		
Peso de tara (gr)	107.50		
Peso de tara + suelo húmedo (gr)	1468.30		
Peso de suelo húmedo (gr)	1360.80		
Peso de tara + suelo seco (gr)	1445.40		
Peso de suelo seco (gr)	1337.90		
Peso del agua (gr)	22.90		
Contenido de humedad parcial (%)	1.71%		

*Las muestras fueron extraídas y puestas en laboratorio por los tesisistas, debidamente etiquetadas y acompañadas de sus respectivos descriptores.

**Los ensayos fueron realizados por los tesisistas, siguiendo los procedimientos establecidos en el laboratorio. Los resultados han sido procesados para el presente informe.

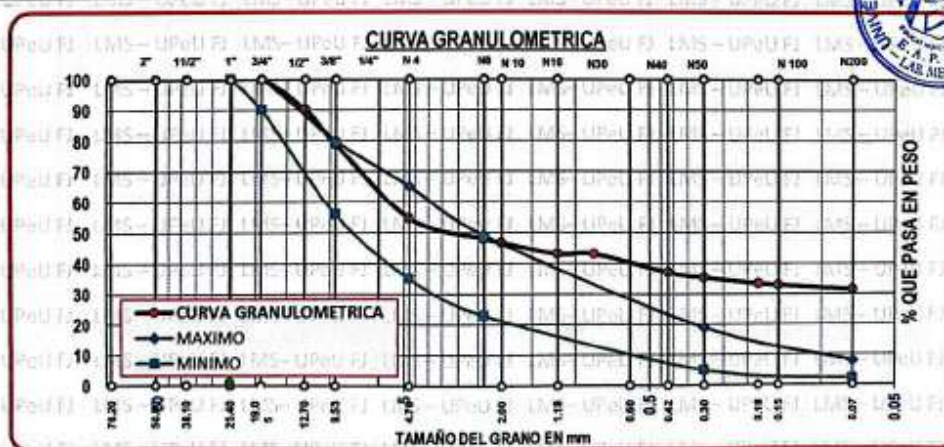




UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

TÍTULO DE TESIS	: "Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente"
SOLICITANTE	: Bach. Arizaca Hancock Christian y Bach. Rodríguez Uscamayta Edgar Zenon
Procedencia de muestra	: Material combinado
Descripción de muestra	: Mezcla piedra chancada 1/2" (25%) + gravilla 3/8" (24%) + arena chancada (33.5%) + arena natural (17.5%)
Fecha de ejec. de ensayo	: 17/10/2024
ENSAYO:	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
NORMA ASTM - D 422	
Nro de Muestra	: M-01
Clasificación SUCS	: GM
Clasificación AASHTO	: A-2-4 (0)
Estado de la Muestra	: Alterada

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones D3515-D4	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	100.0		Peso Inicial : 2000.0 gr.
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0		Peso Lavado : 1372.0 gr.
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.0		Peso Perdido : 628.0 gr.
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.0	100.0 - 100.0	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.0	90 - 100	
1/2"	12.7	194.00	9.70	9.70	90.3	-	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3/8"	9.53	228.00	11.40	21.10	78.9	56 - 80	Límite Líquido : NP
No4	4.76	485.00	24.25	45.35	54.7	35 - 65	Límite Plástico : NP
No8	2.36	134.00	6.70	52.05	48.0	23 - 49	
No10	2.00	24.40	1.22	53.27	46.7		CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No16	1.18	74.40	3.72	56.99	43.0		D10 = NP
No30	0.60	68.20	3.41	60.40	39.6		D30 = NP
No40	0.42	51.20	2.56	62.96	37.0		D60 = 5.97
No 50	0.30	35.00	1.75	64.71	35.3	5 - 19	
No80	0.18	40.40	2.02	66.73	33.3		CU = NP
No100	0.15	8.60	0.43	67.16	32.8		CC = NP
No200	0.07	28.80	1.44	68.60	31.4	2 - 8	
BASE		628.00	31.40	100.00	0.00		
TOTAL		2000.00					



*Las muestras fueron extraídas y puestas en laboratorio por los testistas, debidamente etiquetadas y acompañadas de sus respectivas descripciones

**Los ensayos fueron realizados por los testistas, siguiendo los procedimientos establecidos en el laboratorio. Los resultados han sido procesados para su correspondiente certificación

*** La gradación correspondiente a los límites máximos y mínimos representados en la curva granulométrica fue seleccionada por los testistas en función de los parámetros establecidos en la norma ASTM D3515 - D4



UNIVERSIDAD PERUNA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

TÍTULO DE TESIS	: "Influencia de la incorporación de aceite de motor reciclado como alternativa en el diseño de mezcla asfáltica en caliente"
TESISTAS	: Bach. Arizaca Hanco Christian y Bach. Rodríguez Uscamayta Edgar Zenon
Procedencia de muestra	: Material combinado
Descripción de la muestra	: Mezcla piedra chancada 1/2" (25%) + grava 3/8" (24%) + arena chancada (33.5%) + arena natural (17.5%)
Fecha de ejec. de ensayo	: 18/10/2024
ENSAJO:	
LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO	
NORMA ASTM - D 4318	
Nro de Muestra	: M-01
Clasificación SUCS	: GM
Clasificación AASHTO	: A-2-4 (0)
Estado de la Muestra	: Alterada

DESCRIPCION	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
Nro de ensayo								
Numero de Capsula								
Peso de Capsula + Suelo Humedo (gr)								
Peso de Capsula + Suelo Seco (gr)								
Peso del Agua (gr)								
Peso de Capsula (gr)								
Peso de Suelo Seco (gr)								
Contenido de Humedad (%)								
Numero de Golpes								

LÍMITE LÍQUIDO



Límite Líquido : NP Límite Plástico : NP Índice de Plasticidad : NP

*Las muestras fueron extraídas y puestas en laboratorio por los tesistas, debidamente etiquetadas y acompañadas de sus respectivas descripciones

**Los ensayos fueron realizados por los tesistas, siguiendo los procedimientos establecidos en el laboratorio. Los resultados han sido procesados para su correspondiente certificación

Anexo 6. Certificado de Laboratorio de Suelos



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
INGENIERIA Y CONTROL DE CALIDAD

PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION ASTM C128				
PROYECTO	INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE ACEITE DE MOTOR RECICLADO COMO ALTERNATIVA EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE			
SOLICITANTE	ARIZACA HANCCO CHRISTIAN - RODRIGUEZ USCAMAYTA EDGAR ZENON			
MUESTRA	AGREGADO FINO			
FECHA	25-03-2026	ESPECIALISTA		
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE ARENA CHANCADA				
I. DATOS				
1	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO gr.	497.40	498.60	498.10
2	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA gr.	499.80	500.10	500.00
3	PESO DEL PICNOMETRO AFORADO + AGUA gr.	1116.50	1125.20	1121.40
4	PESO DEL PICNOMETRO AFORADO + AGUA + ARENA gr.	1426.10	1435.90	1430.60
5	PESO DEL PICNOMETRO gr.	221.00	221.00	221.00
6	DENSIDAD DEL AGUA gr/cm3.	1.00	1.00	1.00
II. RESULTADOS				
1	PESO ESPECIFICO DE APARENTE: $1/(3+2-4)$	2.62	2.63	2.61
2	PESO ESPECIFICO NOMINAL: $1/(3+1-4)$	2.65	2.65	2.64
3	PORCENTAJE DE ABSORCION: $((2-1)/1)*100$	0.48	0.30	0.38
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE ARENA NATURAL				
I. DATOS				
1	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO gr.	498.20	499.10	499.00
2	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA gr.	500.70	501.20	501.00
3	PESO DEL PICNOMETRO AFORADO + AGUA gr.	1119.30	1128.80	680.40
4	PESO DEL PICNOMETRO AFORADO + AGUA + ARENA gr.	1422.20	1432.30	983.00
5	PESO DEL PICNOMETRO gr.	221.00	221.00	221.00
6	DENSIDAD DEL AGUA gr/cm3.	1.00	1.00	1.00
II. RESULTADOS				
1	PESO ESPECIFICO DE APARENTE: $1/(3+2-4)$	2.52	2.52	2.52
2	PESO ESPECIFICO NOMINAL: $1/(3+1-4)$	2.55	2.55	2.54
3	PORCENTAJE DE ABSORCION: $((2-1)/1)*100$	0.50	0.42	0.40
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO  Yara Mary LePica Mariani TEC. ESPECIALISTA  Alex Herencia Guerra INGENIERO CIVIL CIP. 121812				



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
INGENIERIA Y CONTROL DE CALIDAD

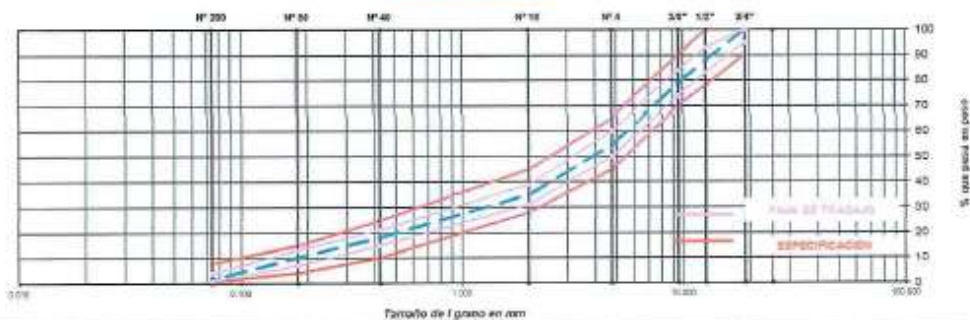
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE MOTOR DE ACEITE DE MOTOR RECICLADO COMO ALTERNATIVA EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	ING. RESP. :
SOLICITANTE	RODRIGUEZ USCAMAYTA EDGAR ZENON - ARIZACA HANCOO CHRISTIAN	TÉCNICO :
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA	FECHA : Ago-05
CANTERA	CANTERA VILCANOTA - CANTERA AYAVIRI	

Diseño: C.A. 5.10% + Aceite 2.50%

ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFALTICO	
TAMIZ ASTM		3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 60	Nº 200	<Nº 200	Peso Mat. Seleccionado	gr
ABERTURA EN mm		19.0	12.5	9.5	4.75	2.0	0.425	0.25	0.075		Peso Mat. Lavado	gr
PESO RETENIDO	gr		135.0	102.0	270.0	182.0	225.0	90.0	36.0	15.4	Peso Mat. Lav + Filtro	gr
RETENIDO PARCIAL	%		12.1	9.1	24.1	16.3	20.1	8.0	3.2	1.3	Peso de Asfalto	gr
RETENIDO ACUMULADO	%		12.1	21.2	45.4	61.7	81.8	89.8	98.4	100.0	Peso inicial de Filtro	gr
PASA	%	100.0	87.9	79.6	54.6	38.3	18.2	10.2	1.6		Peso final de Filtro	gr
											Peso de Filler	gr
ASFALTO LÍQUIDO											FRACCIÓN	%
TRAMO ASFALTADO											PESO TOTAL	gr
												1122.0

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRQUETAS	Nº	1	2	3	4	
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.5	5.5	5.5	5.5	
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	42.42	42.42	42.42	42.42	
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	51.08	51.08	51.08	51.08	
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.00	0.00	0.00	0.00	
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.03	1.03	1.03	1.03	
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.340	2.340	2.340	2.340	
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.330	2.330	2.330	2.330	
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		1.035	1.035	1.035	1.035	
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1180.0	1180.0	1179.0	1183.4	
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1181.8	1183.7	1180.0	1188.2	
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	677.0	679.0	676.0	679.0	
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	504.8	507.7	504.3	507.3	
13 PESO DE LA PARAFINA (10-8)	gr	0.0	0.0	0.0	0.0	
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13/8 parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0	0.0	
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPACHAMIENTO (12-14)	c.c.	504.8	507.7	504.3	507.3	
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (10-15)	gr/c.c.	2.339	2.339	2.339	2.333	
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.407	2.407	2.407	2.407	
18 VACÍOS (17-16)*100/17	%	2.8	3.2	2.8	3.1	3-6
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4+5+6+7+8+9)		2.391	2.391	2.391	2.391	
20 V.M.A. (10-19)*100/19	%	8.5	8.9	8.5	8.8	
21 VACÍOS LLENOS CON C.A. 100/20-16/20	%	67.0	63.6	66.6	64.8	
22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4+5+6+7+8+9)		2.654	2.654	2.654	2.654	
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (10-21)*22/19	%	4.27	4.27	4.27	4.27	
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO (1-23)*24/100	%	2.51	2.51	2.51	2.51	
25 FLUJO	mm	1.8	1.8	1.8	1.8	2-4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	534.3	559.7	559.4	559.7	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00	1.00	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	534	559	559	554	Mín 515
29 ESTABILIDAD FLUJO	Kg/cm	3340	4590	2997	3491	

LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO
[Firma]
Yon Mary Larico Mamani
TÉCNICO ESPECIALISTA



[Firma]
Alex Horepela Huerto
INGENIERO CIVIL
CIP. 12134



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
INGENIERIA Y CONTROL DE CALIDAD

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE MOTOR DE ACEITE DE MOTOR RECICLADO COMO ALTERNATIVA EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	ING. RESP. :
SOLICITANTE	RODRIGUEZ USCAMAYTA EDGAR ZENON - ARIZACA HANCCO CHRISTIAN	TÉCNICO :
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA	FECHA : Ago-25
CANTERA	CANTERA YILCANOTA - CANTERA AYAVIRI	

Objeto: C.A. 6.1%

ENSAYO GRANULOMÉTRICO										LAVADO ASFALTICO	
TAMZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200	<Nº 200	Peso Mat. Suaviz	gr.
ABERTURA EN mm	19.000	12.700	9.525	4.750	2.000	0.425	0.18	0.075		Peso Mat. Lavado	gr.
PESO RETENIDO	gr.	136.5	100.0	271.8	103.8	328.0	90.4	96.6	18.5	Peso Mat. Lav + Filtro	gr.
RETENIDO PARCIAL	%	12.1	9.1	24.1	16.2	30.1	8.0	8.6	1.8	Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%	12.1	21.5	45.4	61.7	81.9	89.8	98.4	100.0	Peso final de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	87.9	70.6	54.8	38.5	10.2	1.6		Peso de Filtro	gr.
ASFALTO LIQUIDO										FRACCIÓN	%
TRAMO ASFALTADO										PESO TOTAL	gr.
											1126.8



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRQUETAS	Nº	1	2	3	4
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.1	6.1	6.1	6.1
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > N° 4	%	42.60	42.60	42.60	42.60
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < N° 4	%	51.30	51.30	51.30	51.30
4 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.00	0.00	0.00	0.00
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.05	1.05	1.05	1.05
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.542	2.542	2.542	2.542
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.836	2.836	2.836	2.836
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE		1.391	1.391	1.391	1.391
9 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1182.8	1188.0	1187.8	1184.0
10 PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1170.5	1179.0	1188.1	1187.8
11 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	679.0	689.0	718.9	708.0
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	c.c.	491.5	496.0	521.1	492.3
13 PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr	0.0	0.0	0.0	0.0
14 VOLUMEN DE PARAFINA (13Pa parafina)	c.c.	0.0	0.0	0.0	0.0
15 VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	c.c.	512.5	514.5	513.7	515.3
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (3/15)	gr/c	2.376	2.323	2.330	2.317
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.407	2.407	2.407	2.407
18 VACÍOS (17-16)/(100/1)	%	3.4	3.5	3.2	3.7
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(3/7+14/8)		2.391	2.391	2.391	2.391
20 V.M.A. 100-(2+3+4)/(16/16)	%	8.8	8.8	8.5	8.0
21 VACÍOS LLENOS CON C.A. 100/(35-16/20)	%	61.6	60.8	62.5	56.5
22 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(100/17)+(16/8)		2.636	2.636	2.636	2.636
23 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100-9)/(25-19)/(22*19)	%	4.01	4.01	4.01	4.01
24 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(23)*2+3+4/(100)	%	2.34	2.34	2.34	2.34
25 FLUJO	mm	3.6	2.1	2.3	2.4
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	Kg	1204.8	1292.0	1296.0	1248.0
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00	1.00
28 ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	1325	1292	1296	1269
29 ESTABILIDAD-FLUJO	Kp/m	6623	6152	5886	5166

LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

Yda Maru Larico Mamani
TEC. ESPECIALISTA



Alex Herencia Guerra
INGENIERO CIVIL
CIP. 121312