

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Influencia del cemento Portland como filler en las propiedades físico
mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Darwin Paul Ahumada Arevalo

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2025

Influencia del cemento Portland como filler en las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

PRESENTADA POR

Darwin Paul Ahumada Arevalo

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Anibal Teodoro Diaz Orrego

PRESIDENTE

Juan Jacobo Sanchez Bautista

SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez

VOCAL

Dedicatoria

Querida MADRE este logro es tanto tuyo como mío, porque sin ti, sin tu esfuerzo, tu cariño y amor nada de esto hubiera sido posible.

Terminar mi carrera es un sueño que compartimos papito Agustín, y espero te sientas orgulloso de mi.

Saber que siempre puedo contar contigo Papá Henry, ha sido un regalo invaluable, gracias por consentirme y estar siempre dispuesto a escucharme y sobre todo ser tolerante conmigo, este logro es un reflejo de tu influencia en mi vida.

A mi tía Kelly que me oriento académicamente todos estos años y por exigirme a nunca rendirme.

A toda mi querida familia, a mi Tía Betty, mi abuelita Marina, ya que cada logro, Cada avance y cada página redactada lleva consigo un pedacito de su esfuerzo y dedicación, Gracias por creer en mí.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud y la fortaleza necesaria para prepararme durante mi etapa universitaria y culminar exitosamente mi carrera.

Expreso mi sincero agradecimiento sobre todo a mi madre, mi familia y todas aquellas personas, ya que no podría haber llegado hasta aquí sin su apoyo y respaldo continuo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los técnicos del laboratorio Leibnitz Rivadeneira y Francisco Casanova, por su guía, apoyo, disposición y mucha paciencia para ayudarme en cada etapa del proyecto puesto que sus conocimientos y dedicación me permitieron mejorar y superar los desafíos que surgieron en el camino.

Tuve el privilegio de aprender de docentes que marcaron mi camino profesional, agradezco con profundo respeto a mi asesor el ingeniero Manuel Borja por su guía firme y generosa y a los ingenieros Teodoro Diaz, Cesar Cachay y Guillermo Carranza por sus valiosas enseñanzas y constante apoyo a lo largo de mi formación.

Así mismo un agradecimiento muy especial a mis amigos Christian Mendoza, Carlita Garate y Selene Vega, por celebrar conmigo cada pequeño logro y por ser una fuente de admiración; hicieron de este proceso algo más llevadero, con su compañía inigualable, tuve muchos momentos de risa y apoyo incondicional.

Agradezco de corazón a las licenciadas Edith Pisfil, Karina Herrera y Mariella Adrianzen que comenzaron siendo parte del proceso administrativo, pero terminaron siendo parte de mi historia. Gracias por su apoyo, por sus palabras y por regalarme una amistad que valoro profundamente.

Agradezco a mi prima Allison Romero, quien siempre ha sido una fuente de profunda admiración para mí. Su determinación inquebrantable y su capacidad para superar cualquier obstáculo han sido una inspiración constante en mi vida.

Influencia del cemento portland como filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
8	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	1%

Índice

Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción	12
Revisión de literatura	14
Resultados y discusión	48
Resultados	48
Discusión	55
Conclusiones	57
Recomendaciones.....	58
Referencias.....	59
Anexos	62

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Visita de la Cantera tres Tomas.....	36
Ilustración 2: Visita a la Cantera tres Tomas - Ferreñafe	36
Ilustración 3 Contenido de humedad total de los agregados por secado	37
Ilustración 4 Análisis Granulométrico de agregados	37
Ilustración 5 Durabilidad al sulfato de magnesio.....	38
Ilustración 6. Sales solubles totales en agregados.....	39
Ilustración 7 Peso y absorción de agregados gruesos	40
Ilustración 8. Abrasión Los Ángeles al Desgaste	40
Ilustración 9. Azul de metileno.....	41
Ilustración 10. Partículas Fracturadas	41
Ilustración 11. Partículas chatas y alargadas	42
Ilustración 12. Gravedad específica y absorción de agregado fino	42
Ilustración 13. Equivalente de arena	43
Ilustración 14. Límites de plasticidad	43
Ilustración 15. Pesaje y añadido de agregados y cemento asfáltico.	44
Ilustración 16. Mezcla de agregados y compactación de especímenes.....	44
Ilustración 17. Extracción de especímenes.	45
Ilustración 18 .Densidad de las muestras.....	45
Ilustración 19. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestra.	46
Ilustración 20. Ensayo de Gravedad Específica.	46
Ilustración 21. Ensayo de Cántabro.....	47
Ilustración 22. Preparación de la muestra.....	47
Ilustración 23. Ensayo Lottman Modificado	48
Ilustración 24. Curva de Fluidez.....	52
Ilustración 25. Gráficos % Contenido de asfalto vs. Parámetros de diseño para MAC convencional	53

Lista de tablas

Tabla 1:Selección de tipo de cemento asfáltico.....	17
Tabla 2: Control de calidad de los agregados gruesos	18
Tabla 3: Control de calidad de los agregados finos.....	19
Tabla 4: Tamaño de la muestra.	19
Tabla 5:Cantidad mínima de muestra de agregado grueso	20
Tabla 6:Tamices para el agregado fino.....	20
Tabla 7:Tamices para el agregado grueso	21
Tabla 8:Tamices para ensayos en agregados gruesos después de eliminar sulfatos	21
Tabla 9:Peso de muestra según el tipo de agregado	21
Tabla 10:Peso mínimo de la muestra de ensayo	22
Tabla 11:Carga según tipo de gradación de la muestra para el ensayo de abrasión	23
Tabla 12:Gradación de las muestras de ensayo.....	23
Tabla 13:Peso de muestra con relación al tamaño del agregado	24
Tabla 14:Peso mínimo requerido para el ensayo dependiendo del TMN.....	25
Tabla 15: Husos granulométricos	30
Tabla 16:Requisitos del diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente	32
Tabla 17:Vacíos mínimos en el agregado natural	32
Tabla 18: Diagrama de flujo	35
Tabla 19:Resultado de contenido de humedad para agregado fino.....	48
Tabla 20:Resultado de contenido de humedad para agregado grueso	48
Tabla 21:Resultados del Peso específico para agregados finos	49
Tabla 22:Resultados del Peso específico para agregados gruesos.....	49
Tabla 23:Resultados del Ensayo Azul de Metileno	49
Tabla 24:Resultados de las Sales totales para los agregados gruesos	49
Tabla 25:Resultado de las Sales totales para agregados finos	50

Tabla 26:Resultados de Durabilidad de los Sulfatos para los agregados gruesos.....50

Tabla 27:Resultados para la Durabilidad de los Sulfatos para los agregados finos50

Resumen

La presente investigación evalúa la influencia del cemento Portland como filler en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente (MAC) en la ciudad de Chiclayo.

A través de ensayos de caracterización, se observó que la mezcla modificada con cemento Portland presenta un contenido de humedad de 0.47% para agregados finos y 0.17% para gruesos, asegurando baja interferencia de agua en la cohesión de la mezcla. La absorción fue de 0.30% en finos y 0.60% en gruesos, mientras que el ensayo de abrasión Los Ángeles mostró un desgaste del 12.7%, confirmando una alta resistencia al desgaste. El ensayo de Cántabro arrojó una pérdida promedio de 5.13%, dentro de los límites establecidos para durabilidad en tráfico constante. En cuanto a la susceptibilidad a la humedad, el ensayo de Lottman mostró un TSR de 113.043%, superando el mínimo aceptable de 80% y evidenciando una excelente adhesión entre el ligante y los agregados en condiciones húmedas.

Finalmente, el ensayo de Rice reveló una densidad máxima óptima que contribuye a la compactación, durabilidad y rendimiento de la mezcla. Los resultados sugieren que el uso de cemento Portland como filler incrementa la resistencia y cohesión de la mezcla, siendo una alternativa viable para pavimentos en vías urbanas de alto tráfico en Chiclayo.

Palabras clave: cemento Portland, mezcla asfáltica, propiedades físico-mecánicas, resistencia, cohesión, pavimento.

Abstract

This study evaluates the influence of Portland cement as a filler on the physical and mechanical properties of hot mix asphalt (HMA) in the city of Chiclayo.

Characterization tests revealed that the modified mix with Portland cement had a moisture content of 0.47% for fine aggregates and 0.17% for coarse aggregates, ensuring minimal water interference in the mix's cohesion. Absorption values were 0.30% for fine and 0.60% for coarse aggregates, and the Los Angeles abrasion test showed a wear rate of 12.7%, confirming high wear resistance. The Cantabro test indicated an average loss of 5.13%, within the specified limits for durability under constant traffic. Regarding moisture susceptibility, the Lottman test showed a TSR of 113.043%, exceeding the acceptable minimum of 80% and indicating excellent adhesion between the binder and aggregates in wet conditions.

Finally, the Rice test revealed an optimal maximum density that enhances mix compaction, contributing to durability and performance. Results suggest that using Portland cement as a filler increases the mix's resistance and cohesion, making it a viable alternative for urban high-traffic pavements in Chiclayo.

Keywords: Portland cement, asphalt mix, physical and mechanical properties, resistance, cohesion, pavement.

Introducción

A nivel mundial la infraestructura vial es considerada como la obra civil de mayor impacto al ser un nexo de conexión y comunicación entre comunidades distintas. A su vez esta infraestructura es propensa a sufrir deterioros constantes y masivos a consecuencia de las lluvias que son más periódicas debido al cambio climático [1].

La ingeniería de pavimentos se ha volcado en la búsqueda de soluciones más sostenibles y de alto rendimiento, en las que la calidad de las mezclas asfálticas juega un rol esencial. En este contexto, el uso de aditivos o fillers en las mezclas asfálticas ha sido objeto de estudio para mejorar propiedades físicas y mecánicas como la resistencia a deformaciones, el envejecimiento y la estabilidad térmica [2].

En países desarrollados, como Estados Unidos, Canadá y naciones de la Unión Europea, la inclusión de fillers como el cemento Portland en mezclas asfálticas ha mostrado mejoras significativas en términos de resistencia y durabilidad [3]. La adición de cemento Portland como filler en mezclas asfálticas permite optimizar las propiedades reológicas y mecánicas, influyendo en la resistencia a las deformaciones y el desempeño ante diferentes cargas. Diversos estudios internacionales sugieren que este tipo de modificaciones contribuye a la sostenibilidad y a la reducción de costos a largo plazo en la construcción y mantenimiento de infraestructuras viales [4].

En el ámbito latinoamericano, países como Colombia, Chile y México han implementado el uso de cemento Portland en la industria del pavimento como una alternativa viable para optimizar el desempeño de las carreteras frente a las condiciones adversas de carga y clima. En estos países, se ha identificado que el empleo de fillers mejora la cohesión de la mezcla y la resistencia al deterioro, lo cual se traduce en una mayor durabilidad de los pavimentos. Estas experiencias demuestran el potencial de los fillers en el ámbito regional, posicionando al cemento Portland como un material valioso en la formulación de mezclas asfálticas [5].

En el caso peruano, la infraestructura vial es crítica para el desarrollo económico, debido a su rol en la conexión entre ciudades y zonas rurales. Sin embargo, Perú enfrenta grandes desafíos en el mantenimiento de sus carreteras, especialmente en zonas de alto tránsito y climas extremos. La implementación de mezclas asfálticas modificadas ha sido limitada, y el uso de fillers como el cemento Portland aún se encuentra en etapa de exploración. A pesar de ello, algunas investigaciones preliminares han demostrado que la adición de fillers puede mejorar la

resistencia de las mezclas asfálticas y contribuir a la sostenibilidad de las carreteras peruanas [6].

A nivel regional, en Lambayeque, la infraestructura vial es un factor clave para el comercio y el turismo, especialmente en ciudades como Chiclayo, que sirve como centro de conexión para la costa norte del Perú. Sin embargo, las carreteras de esta región presentan problemas recurrentes de desgaste y deformación debido al incremento del tráfico pesado. La falta de tecnologías avanzadas en la construcción de pavimentos y el limitado uso de mezclas asfálticas con propiedades mejoradas contribuyen a una vida útil reducida de las vías en Lambayeque [7].

En la ciudad de Chiclayo, específicamente, el tránsito vehicular pesado y las condiciones climáticas particulares, caracterizadas por altas temperaturas en verano, incrementan el desgaste de los pavimentos. La necesidad de contar con pavimentos más duraderos y de bajo mantenimiento es evidente, pues el deterioro de las carreteras afecta tanto la seguridad como la economía local. Ante este panorama, resulta relevante explorar alternativas que permitan mejorar la durabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas empleadas en la construcción de pavimentos [8].

La inclusión de cemento Portland como filler en mezclas asfálticas podría constituir una solución viable para mitigar los problemas de deterioro prematuro en la infraestructura vial de Chiclayo [7]. La capacidad del cemento Portland para mejorar propiedades como la resistencia a la deformación y la cohesión de la mezcla podría incrementar la durabilidad de los pavimentos. En este sentido, se requiere de estudios que evalúen el impacto específico de este material en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente [9].

Existen antecedentes internacionales y nacionales que respaldan el uso de cemento Portland como filler para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas, sin embargo, en el contexto local de Chiclayo, su influencia aún no ha sido plenamente investigada. Comprender cómo este material puede modificar el comportamiento de las mezclas asfálticas utilizadas en la región podría ofrecer una respuesta sostenible y económica para mejorar las condiciones de las vías.

Por lo tanto, la presente investigación se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es la influencia del cemento Portland como filler en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente en la ciudad de Chiclayo en el año 2024?

Revisión de literatura

Antecedentes

A nivel internacional, el uso de cemento Portland como filler en mezclas asfálticas ha sido investigado ampliamente, mostrando su potencial para mejorar la durabilidad y resistencia de las pavimentaciones. Un estudio realizado en la Universidad de California en Berkeley demostró que la adición de cemento Portland en las mezclas asfálticas permite una mejor cohesión entre los agregados y el asfalto, incrementando la resistencia a la deformación plástica y al agrietamiento térmico. Estos hallazgos resaltan la viabilidad del cemento Portland como un modificador reológico en mezclas asfálticas, especialmente en áreas de alto tráfico y condiciones climáticas extremas.

Otra investigación desarrollada en la Universidad Técnica de Múnich, Alemania, se enfocó en la resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas modificadas con cemento Portland. Los resultados mostraron que la incorporación de este material como filler mejora la resistencia a la fatiga cíclica, prolongando la vida útil de las pavimentaciones expuestas a tráfico pesado. Este estudio también destacó que el cemento Portland contribuye a reducir la susceptibilidad al envejecimiento, lo que resulta clave para carreteras de alto tránsito en zonas urbanas.

En Japón, estudios realizados por el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada han explorado el uso de cemento Portland en mezclas asfálticas para mejorar la estabilidad térmica. La investigación concluyó que el cemento Portland reduce la deformación y la fluencia en condiciones de altas temperaturas, factor relevante en climas cálidos o en ciudades con variaciones climáticas marcadas. Este estudio respalda la idea de que el cemento Portland puede ser una opción eficiente para reducir el desgaste en pavimentos sujetos a fluctuaciones térmicas.

Finalmente, un estudio realizado en la Universidad de Queensland, Australia, encontró que el cemento Portland aumenta la resistencia al agua y disminuye la absorción en mezclas asfálticas, lo cual mejora la durabilidad del pavimento en climas húmedos. En esta investigación, se observaron mejoras en la cohesión y en la rigidez de las mezclas, favoreciendo la resistencia a la deformación y prolongando la vida útil de las carreteras, especialmente en regiones con lluvias intensas y tráfico constante.

En el contexto nacional, en Perú, algunos estudios recientes han comenzado a explorar el uso de cemento Portland en pavimentos asfálticos, considerando las necesidades de mejorar la resistencia y durabilidad de las carreteras en regiones con alta

carga vehicular. Un estudio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en Lima evaluó la adición de cemento Portland en mezclas asfálticas y encontró que mejora significativamente la resistencia a la tracción indirecta y la cohesión de la mezcla. Este avance es particularmente relevante para pavimentos que soportan tráfico constante en zonas urbanas de alta densidad vehicular.

En Cusco, un proyecto realizado analizó la estabilidad térmica de mezclas asfálticas modificadas con cemento Portland para carreteras de montaña. Los resultados sugirieron que la adición de este material como filler incrementa la resistencia a la deformación por temperatura y reduce el riesgo de fisuración en climas fríos. Esto es esencial para mejorar la durabilidad en áreas rurales de montaña, donde las variaciones térmicas pueden acelerar el deterioro de los pavimentos.

Asimismo, una investigación de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) en Arequipa exploró el efecto de la inclusión de cemento Portland en la resistencia al desgaste de mezclas asfálticas. Los resultados mostraron que el filler permite aumentar la resistencia a la abrasión, siendo especialmente útil para pavimentos expuestos a altos niveles de fricción. Este estudio contribuye a la comprensión de cómo el cemento Portland puede mejorar la durabilidad en vías de alto tráfico y de condiciones climáticas áridas.

Un estudio desarrollado en la Universidad de Piura (UDEP) analizó el comportamiento de mezclas asfálticas con cemento Portland en condiciones de humedad. Los resultados indicaron que el filler reduce la susceptibilidad al daño por humedad y mejora la adherencia entre el asfalto y los agregados, aspectos clave en climas húmedos como los del norte del Perú. Este trabajo refuerza la viabilidad de utilizar cemento Portland para mejorar la resistencia de los pavimentos en zonas expuestas a cambios climáticos frecuentes.

Otra investigación desarrollada en el Instituto Tecnológico de la Construcción en Chiclayo estudió el uso de cemento Portland en mezclas asfálticas para mejorar la estabilidad estructural de pavimentos. Los resultados iniciales indican que la adición de este material contribuye a reducir el agrietamiento por fatiga, lo cual es crucial en el clima cálido de la región. Este avance destaca el potencial del cemento Portland para prolongar la vida útil de las pavimentaciones en entornos de alta temperatura.

Finalmente, un proyecto de Chiclayo evaluó el impacto de utilizar una adición en las mezclas asfálticas en calles de alto tráfico en esta ciudad. Los resultados preliminares muestran que el filler contribuye a la resistencia a la humedad y a la estabilidad en

condiciones climáticas variables. Este proyecto refuerza la importancia de explorar materiales alternativos para mejorar las características físico-mecánicas de las mezclas asfálticas utilizadas en la ciudad[10].

Estos antecedentes demuestran el potencial del cemento Portland para optimizar la resistencia y durabilidad de las mezclas asfálticas en diversas condiciones geográficas y climáticas.

Bases Teóricas

Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas, o aglomerados asfálticos, son materiales compuestos principalmente por agregados (gruesos y finos) y cemento asfáltico. Estos elementos, al mezclarse, quedan cubiertos por una película continua de ligante asfáltico que proporciona cohesión. Este tipo de mezcla es ampliamente utilizado en infraestructuras como carreteras y pavimentos, y su composición promedio es un 90% de agregados y un 10% de polvo mineral y ligante asfáltico.[11].

Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)

Mezcla más comúnmente utilizado en el ámbito de la pavimentación. Se le denomina "en caliente" debido a la incorporación de un ligante de tipo hidrocarbonado a altas temperaturas. Este tipo de mezcla puede incluir fillers y aditivos[11].

Componentes de las Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas están compuestas por los siguientes elementos principales:

Cemento Asfáltico o Betún (PEN): Es un material derivado de la destilación del petróleo, caracterizado por ser viscoso y pegajoso, lo que lo hace ideal como ligante en la fabricación de mezclas asfálticas. La viscosidad del betún varía en función de la temperatura, lo cual influye en su comportamiento en la mezcla [12].

Agregados Finos y Gruesos: Son partículas de diferentes granulometrías que proporcionan resistencia y estabilidad estructural a la mezcla.

Aditivos: Pueden incluirse para mejorar propiedades específicas de la mezcla, como la resistencia a las deformaciones o la durabilidad frente a factores ambientales.

Tabla 1: Selección de tipo de cemento asfáltico

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

Nota 1: A través de la temperatura promedio en el área de trabajo se puede seleccionar el cemento de mejor comportamiento para realizar la mezcla asfáltica

Agregado Fino: El agregado fino está compuesto principalmente por arena triturada, o por una combinación de arena triturada y arena natural. Este material, de tamaño reducido, mejora la cohesión, densidad y estabilidad de la mezcla. De acuerdo con la norma ASTM, el agregado fino debe pasar por el tamiz N°4 y ser retenido en el tamiz N°200. Es fundamental que el agregado fino esté libre de impurezas para asegurar una adecuada adherencia con el ligante asfáltico y cumplir con las especificaciones de calidad [12].

Agregado Grueso: El agregado grueso es un material granular de mayor tamaño que proporciona resistencia estructural y capacidad de carga al pavimento. Este agregado es retenido en el tamiz N°4 conforme a la norma ASTM y se obtiene a través del proceso de trituración de grava, roca o una combinación de ambas. Los fragmentos resultantes deben ser resistentes, durables y libres de impurezas; además, deben evitarse las partículas excesivamente alargadas, planas o de características desintegrables y blandas. Componentes como arcilla, tierra o polvo no deben estar presentes, ya que afectan negativamente la adherencia con el ligante asfáltico. Al igual que en el caso del agregado fino, el agregado grueso debe cumplir con los requisitos mínimos de calidad especificados [12].

Tabla 2: Control de calidad de los agregados gruesos

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

Nota 2: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su manual de Ensayos nos da los parámetros que se debe considerar para un control de calidad óptimo.

Tabla 3: Control de calidad de los agregados finos

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	≥ 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 % máx.	8 % máx.
índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	—	18 % máx.
índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 % máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5 % máx.	0,5 % máx.
Absorción	MTC E 205	0,5 % máx.	0,5 % máx.

Nota 3: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones también tiene un apartado de control para los áridos que se usaran en el diseño

Ensayos de caracterización de los agregados

Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado (NTP 339.185).

Tiene la finalidad de determinar la cantidad de agua existente en los agregados mediante el secado[13].

Tabla 4: Tamaño de la muestra.

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (0,187) (N°4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (21/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (21/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3 1/2)	16,0
100 (4)	25,0
150 (6)	50,0

Fuente: MTC (EG, 2013)

Calcular el contenido de humedad total evaporable de la siguiente manera:

$$P = 100 (W - D) / D$$

Dónde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos

Tabla 5: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayos
mm	pulg	kg
9,5	$\frac{3}{8}$	1
12,5	$\frac{1}{2}$	2
19,0	$\frac{3}{4}$	5
25,0	1	10
37,5	$1 \frac{1}{2}$	15
50,0	2	20
63,0	$2 \frac{1}{2}$	35
75,0	3	60
90,0	$3 \frac{1}{2}$	100
100,0	4	150
125,0	5	300

Fuente: MTC (EG, 2013)

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204).

Tiene como finalidad determinar la gradación y distribución de las partículas de los agregados mediante diferentes tamices[13].

Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209)

Tiene la finalidad de determinar la resistencia a la desintegración de agregado fino y grueso por medio de su inmersión en sulfato de magnesio[13].

Tabla 6: Tamices para el agregado fino

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el tamiza normalizado
600 μm (N° 30)	300 μm (N° 50)
1,18 mm (N° 16)	600 μm (N° 30)
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)
9,50 mm (N° 3/8)	4,75 mm (N° 4)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 7: Tamices para el agregado grueso

Tamaño (tamices normalizados de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8) a 4,75 mm (N°4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ± 10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ± 10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incremento de 25,0 mm (1") para cada fricción.	7 000 ± 1 000

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 8: Tamices para ensayos en agregados gruesos después de eliminar sulfatos

Tamaño del agregado	Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	31,5 mm (1 1/4")
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	16,0 mm (5/8")
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	8,0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8) a 4,75 mm (N°4)	4,0 mm (N°4)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles (MTC E 219)

Prueba empleada para determinar los contenidos hacia los sulfatos disueltos en agua[13]. Por ello se deberán usar los pesos de la muestra enfocadas en el siguiente cuadrante:

Tabla 9: Peso de muestra según el tipo de agregado

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 – 20 mm	1000	500
Grava 20 – 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

Fuente: MTC (EG, 2013)

Calculamos mediante la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206).

Prueba cuyo objetivo es establecer la gravedad específica en una muestra que fue anteriormente deshidratada, SSS y pesada en relación con la absorción del agregado grueso [13]. Cuyos cálculos se muestran en las siguientes fórmulas:

Tabla 10: Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 1/2)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 1/2)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 1/2)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Para el cálculo se utiliza las siguientes fórmulas:

$$Pe_m = \frac{A}{(B-C)} \times 100$$

Dónde:

A= Muestra seca en el aire, gramos;

B= Muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C= Peso en el agua de la muestra saturada.

Peso específico de la masa saturada con superficies seca (Pe_{SSS})

$$Pe_{SSS} = \frac{B}{(B-C)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{A}{(A-C)} \times 100$$

Absorción (A_b)

$$A_b = \frac{(B-A)}{A} \times 100$$

Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los agregados se tamaño menor de 37,5 mm (1 1/2 ") (MTC E 207).

Prueba especialmente con el fin de calcular la resistencia que existe en la separación de partículas de agregado grueso de tamaño cuyas dimensiones son más pequeñas por Abrasión en máquina de los ángeles. Mostrando a continuación la gradación que se debe tener en cuenta las cargas [13].

Tabla 11: Carga según tipo de gradación de la muestra para el ensayo de abrasión

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	500 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 25

Fuente: MTC (EG, 2013)

Tabla 12: Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicada, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-	-	2500 ± 10	-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N° 4)	-	-	2500 ± 10	-
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	-	-	-	5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: MTC (EG, 2013)

Método de Ensayo Estándar para la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso (MTC E 2010)

Prueba empleada para determinar el % de partículas fracturadas de una muestra de agregados grueso[13]. Mostrando los requerimientos según su TMN mostradas a continuación:

Tabla 13: Peso de muestra con relación al tamaño del agregado

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínimo mm (pulg.)	Abertura Cuadra, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb .)
9,5 (3/8)	200 (5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 1/2)	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 1/2)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 1/2)	90 00 (198)

Fuente: MTC (EG, 2013)

Para el cálculo del % de masa se realizó un conteo de partículas incluyendo el número específico de caras fracturadas se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Dónde:

P= porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F= masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.

N= masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran el criterio de partículas fracturadas.

Partículas chatas y alargadas en agregados para pavimento flexibles (MTC E 223).

Prueba empleada que sirve para obtener el % perteneciente de partículas que sean alargadas o también chatas pertenecientes al agregado grueso y relacionadas con la ruptura de dichas partículas durante el proceso de producción de la mezcla[13].

Tabla 14: Peso mínimo requerido para el ensayo dependiendo del TMN

Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm – (pulgada)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg – (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2)	15 (33)
50,0 (2)	20 (44)
63,0 (2 1/2)	35 (77)
75,0 (3)	60 (130)
90,0 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
112 - (4 1/2)	200 (440)
125 (5)	300 (660)
150 (6)	500 (1100)

Fuente: MTC (EG, 2013)

los índices de aplanamiento y alargamiento de cada fracción de ensayo se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\text{Índice de aplanamiento } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100$$

$$\text{Índice de alargamiento } (I_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100$$

Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205).

Prueba empleada para establecer la gravedad específica de una muestra que ha sido deshidratada, colmada desde la superficie sumamente seca y pesada en relación con la absorción de agregado fino[13]. Las siguientes fórmulas se utilizan para realizar los cálculos:

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)}$$

Dónde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

V = Volumen del frasco en cm^3

V_a = Peso en gramos o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

Absorción (Ab)

$$A_b = \frac{500 - W_o}{V_s} \times 100$$

Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino (MTC E 114).

Prueba empleada para cuantificar la presencia de suelos finos de carácter plásticos, polvo o suelos arcillosos, implicaría que el cálculo del equivalente de arena mediante la siguientes formula[13]:

$$SE = (Lectura\ de\ arena / lectura\ de\ arcilla) \times 100$$

Donde:

SE = Arena equivalente

Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (MTC E 111)

Prueba empleada para determinar el L.P y calcular el índice de plasticidad cuando se tiene resultados del L.L[13]. El cálculo del límite plástico es mediante el promedio de dos contenidos de humedad, donde se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Por otro lado, el cálculo del índice de plasticidad se realiza mediante la variación de límite líquido y límite plástico.

Ensayo de Azul de metileno (AASHTO TP 57)

Prueba empleada para la detección de arcillas perniciosas en agregados mediante el azul de metileno. El procedimiento se detendrá cuando se observe claramente el halo azul[13]. Para determinar su cantidad se utiliza la siguiente fórmula:

$$MBV = \frac{C_{sol}}{C_{filler}}$$

Dónde:

MBV [mg/g] = Valor de azul de metileno, con aproximación de 0.1 mg/g.

C_{SOL} [mg] = Cantidad de azul de metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo.

C_{filler} [g] = Cantidad de material contenido en la suspensión.

Filler o Relleno mineral

Polvo mineral usado en mezclas asfálticas, para aumentar estabilidad y minimizar el asfalto necesario para el diseño requerido. Esto se origina del aporte de productos comerciales o trituración de los ya conocidos agregados con la norma AASHTO-M303 y la ASTM D-242. Las cantidades específicas estarán definitivas en el diseño[14].

Propiedades de las Mezclas Asfálticas

Se desempeñan satisfactoriamente porque están diseñadas, fabricadas e instaladas para lograr una calidad óptima en los pavimentos. Estas propiedades contribuyen al desempeño adecuado y la longevidad del pavimento, entre ellas tenemos:

a) Estabilidad

Resistencia al desplazamiento y a la deformación influenciada por cargas. El pavimento presenta la capacidad de conservar su estructura e integridad ante cargas constantes[15].

b) Durabilidad

Resistencia a la descomposición del agregado, las alteraciones en las características y el desprendimiento de la capa asfáltica. Estos problemas pueden ser causados por la intervención climatológica, el tráfico o una combinación de los dos[15].

c) Impermeabilidad

Capacidad de resistencia al paso de aire y agua en contra de la mezcla asfáltica. Vinculada con el contenido de vacíos y es por eso que el problema sobre los vacíos en los parámetros se conecta a la impermeabilidad, además muestra su capacidad para permitir el acceso de aire y agua, pero es importante destacar que el comportamiento de estos vacíos posee más importancia en comparación con su proporción[15].

d) Trabajabilidad

Se caracteriza por su fácil colocación y compactación. Es posible mejorarla mediante cambios en los valores admisibles de diseño, el agregado utilizado y su granulometría. Estos ajustes pueden hacer que la mezcla sea más fluida y maleable, lo que facilita su colocación y compactación en el pavimento durante su elaboración[15].

e) Flexibilidad

Un pavimento asfáltico flexible es capaz de adaptarse a que subrasante se desplace y asiente sin presentar grietas. Propiedad anhelada en todos los pavimentos asfálticos, ya que prácticamente todas las subrasantes experimentan asentamientos bajo cargas. La mezcla asfáltica que presente una granulometría porosa y un elevado contenido de asfalto tiende a poseer mayor flexibilidad que una mezcla densamente graduada con menor C.A.[15].

f) Resistencia a la fatiga

Capacidad de resistencia a la flexión constante ocasionada por cargas. Está comprobado que tanto el contenido de vacíos como la viscosidad muestran un impacto importante para esta propiedad. Cuando un pavimento presenta un alto porcentaje de vacíos, ya sea debido a un diseño deficiente o a una ausencia de consolidación adecuada, su resistencia a la fatiga reduce[15].

g) Resistencia al deslizamiento

Capacidad disminuir el deslizamiento de los neumáticos de automóviles, especialmente presentan humedad, se obtiene in situ a una velocidad de 65 km/h empleando ruedas estándar en condiciones de humedad controlada en la superficie de la carretera[15].

Características y comportamiento de las Mezclas Asfálticas

El análisis de las mezclas asfálticas se puede realizar con el fin de realizar una evaluación a su desempeño estructural. El estudio se enfoca en cuatro principales características y su correspondiente impacto e influencia de la mezcla[15]. Estas son las siguientes:

a) Densidad

Esta característica se determina mediante el peso por unidad de volumen, es fundamental lograr una elevada densidad garantizando un rendimiento de larga duración[15]

b) Vacíos de aire

Se pueden encontrar bolsas o vacíos de aire formados de los agregados revestidos al final en la mezcla consolidada. Es esencial en las mezclas que presenten una determinada proporción de espacios vacíos, lo cual permite una mayor compactación debido al tránsito facilitando el flujo del material asfáltico en el transcurso de su elaboración[15].

c) Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Son cavidades de aire presentes en los fragmentos de agregado, que incluyen otros saturados de material asfáltico. El VMA manifiesta el vacío libre para modificar el volumen del material asfáltico, restando la parte perdida en el agregado y el % de vacíos[15].

d) Contenido de asfalto

La cantidad ideal de asfalto está relacionado con las propiedades del agregado, además de su granulometría y su potencial de absorción[15].

Gradación para la Mezcla Asfáltica en caliente

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a los siguientes husos granulométricos:

Tabla 15: Husos granulométricos

TAMIZ	Porcentajes		
	MAC -1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80 – 100	100	
12,5 mm (1/2")	67 – 85	80 – 100	
9,5 mm (3/8")	60 – 77	70 – 88	100
4,75 mm (4")	43 – 54	51 – 68	65 – 87
2,00 mm (N° 80)	29 – 45	38 – 52	43 – 61
425 µm (N°40)	14 – 25	17 – 28	16 – 29
180 µm (N° 80)	8 – 17	8 – 1	9 – 19
75 µm (N° 200)	4 - 8	4 - 8	5 – 10

Fuente: MTC (EG, 2013)

Nota 4: Según el tipo de MAC debe cumplir los porcentajes de retención en cada tamiz

Bases Legales

Diseño de mezclas asfálticas en caliente mediante el Método Marshall

Se aplica únicamente en MAC utilizadas para los pavimentos, los cuales están compuestos por agregados con un TMN. Se trata de un experimento de laboratorio diseñado para desarrollar una MAC adecuada analizando su estabilidad/fluencia y densidad de vacíos, asegurando una buena durabilidad de la mezcla. Marshall sigue las pautas establecidas en la norma ASTM D 1559/MTC E 504. El procedimiento consiste en ejercer una carga vertical a una probeta hasta producir su fractura[15].

Metodología del Diseño Marshall

Control y calidad de agregados

Para llevar a cabo el diseño de MAC se debe ejecutar un control de calidad de los agregados. Esto implica desarrollar diversos ensayos que brindarán información sobre el proceder esperado de la mezcla asfáltica luego de que sea utilizada en la práctica[9].

Dosificación de la combinación de agregados

La granulometría estará determinada por diversos factores, siendo los más relevantes el espesor de la capa de asfalto diseñado y el TMN del agregado utilizado. Estos factores influyen en la selección de los límites de tamaño de los agregados para garantizar una distribución adecuada de las partículas y efectuar las restricciones de densidad, resistencia y durabilidad del pavimento. Es importante considerar estos

aspectos al diseñar la mezcla asfáltica, ya que una granulometría adecuada contribuirá a un desempeño satisfactorio de la resistencia estructural y comportamiento ante las cargas del tráfico[15].

Procedimiento del Ensayo Marshall

Se compone de diferentes procesos que permiten analizar las características de una mezcla asfáltica: determinando la gravedad específica, midiendo la estabilidad Marshall, analizando la densidad y el contenido de vacíos[16].

Gravedad específica

El ensayo consistente en determinar el peso específico se lleva a cabo siguiendo el proceso establecido en la norma ASTM D1188. Realizándose cuando las muestras consolidadas enfrían a una temperatura ambiente[16].

Ensayos de estabilidad y flujo

Presenta por objetivo calcular la capacidad de resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica, por otro lado el ensayo de flujo evalúa la deformación que experimenta por cargas aplicadas[13]. El proceso detallado se presenta a continuación:

- Las briquetas se exponen al calor mediante el baño maría de agua a 60 °C[16]
- Luego de calentarlas, se retiran del baño maría y se secan rápidamente antes de ser colocadas en el equipo Marshall, el cual aplica una carga a la muestra y midiendo la deformación, también conocida como fluencia[16].
- La fuerza empleada posee una velocidad hasta quebrar la probeta. La carga máxima que la probeta resiste la señala como el valor de estabilidad[16]
- Asimismo, que se registra el valor de la medida de deformación la carga máxima comienza a disminuir. Esta lectura representa la fluencia en ese instante[16]

Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente

Deben ser evaluados están establecidos en el MTC, el cual proporciona las especificaciones técnicas generales. Estos valores establecidos fueron comparados con los datos alcanzados tanto del diseño una MAC convencional como una modificada[13].

Tabla 16: Requisitos del diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente

Parámetros de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Relación estabilidad/ flujo (kg/cm) (Rigidez) (2)	1.700 - 4000		

Fuente: MTC (EG, 2013)

Nota 5: Existe 3 clases de diseños con sus valores que debe presentar (A, B y C)

Tabla 17: Vacíos mínimos en el agregado natural

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %
	Marshall
1" (25,0 mm)	13
¾" (19,0 mm)	14
½" (12.5 mm)	15
3/8" (9,50 mm)	16
Nº 4 (4.75 mm)	18

Fuente: MTC (EG, 2013)

Nota 6: El ensayo de Marshall nos da un parámetro de vacíos que debe tener como mínimo una mezcla asfáltica según el tamaño del agregado

Ensayo de Lottman Modificado (MTC E 522).

Prueba empleada para determinar el deterioro causado por la humedad en las MAC se produce por la pérdida de adhesión del C.A y los agregados pétreos. El cálculo se determina mediante el índice y se utilizan las siguientes ecuaciones[13]:

$$ITS = [(2 \times P) / (\pi \times D \times H)]$$

Dónde:

P: Carga máxima aplicado a la muestra hasta la rotura, expresado en kN

D: Diámetro de la muestra de ensayo, expresado en mm

H: Altura de la muestra de ensayo, expresado en mm

Para cada grupo de muestras saturadas y secas, se calcula el valor correspondiente de ITS.

Luego, se determina la relación de TSR dividiendo el valor de ITS de las muestras saturadas entre el valor de ITS de las muestras secas.

$$TSR = ITS_{saturado} / ITS_{seco} \times 100$$

Ensayo de Módulo Resiliente (ASTM D-4123).

Prueba empleada para replicar las condiciones de campo en las que los materiales del pavimento experimentan cargas de breve duración debido al tráfico se define como la correlación de la tensión de tracción constante en el plano vertical y la deformación recuperable a diferentes grados temperatura específica. Para el cálculo se utilizará la siguiente fórmula:

$$M_R = \frac{P \times (v + 0.27)}{(z \times h)}$$

Dónde:

M_R : Módulo de rigidez

P: Carga máxima vertical

z: Deformación horizontal

h: Espesor de la probeta

v: Coeficiente de Poisson (0.35)

Luego de calcular el MR se debe ajustar el factor de superficie de carga de 0.6 aplicando la siguiente fórmula:

$$S_{m=} S_m * (1 - 0.322 * (\log(S_m) - 1.82)) * (0.6 - k)$$

Dónde:

S'_m : Módulo de rigidez ajustado para un factor de superficie de carga

K : Factor de superficie de carga

S_m : Módulo de rigidez

Ensayo de Cántabro (MTC E515).

Prueba empleada para determinar la pérdida de desgaste empleando la Máquina de los Ángeles. El resultado del ensayo de pérdida por desgaste se calcula con la ecuación[13]:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Dónde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Técnica e instrumento de recolección de datos

Técnicas

Observación directa

Las dimensiones de las variables tanto independiente como dependiente tales como la incorporación de Cemento Portland y MAC modificada respectivamente, fueron medidas utilizando métodos de medición directa mediante pruebas de laboratorio sin modificar las características de las subvariables de estudio.

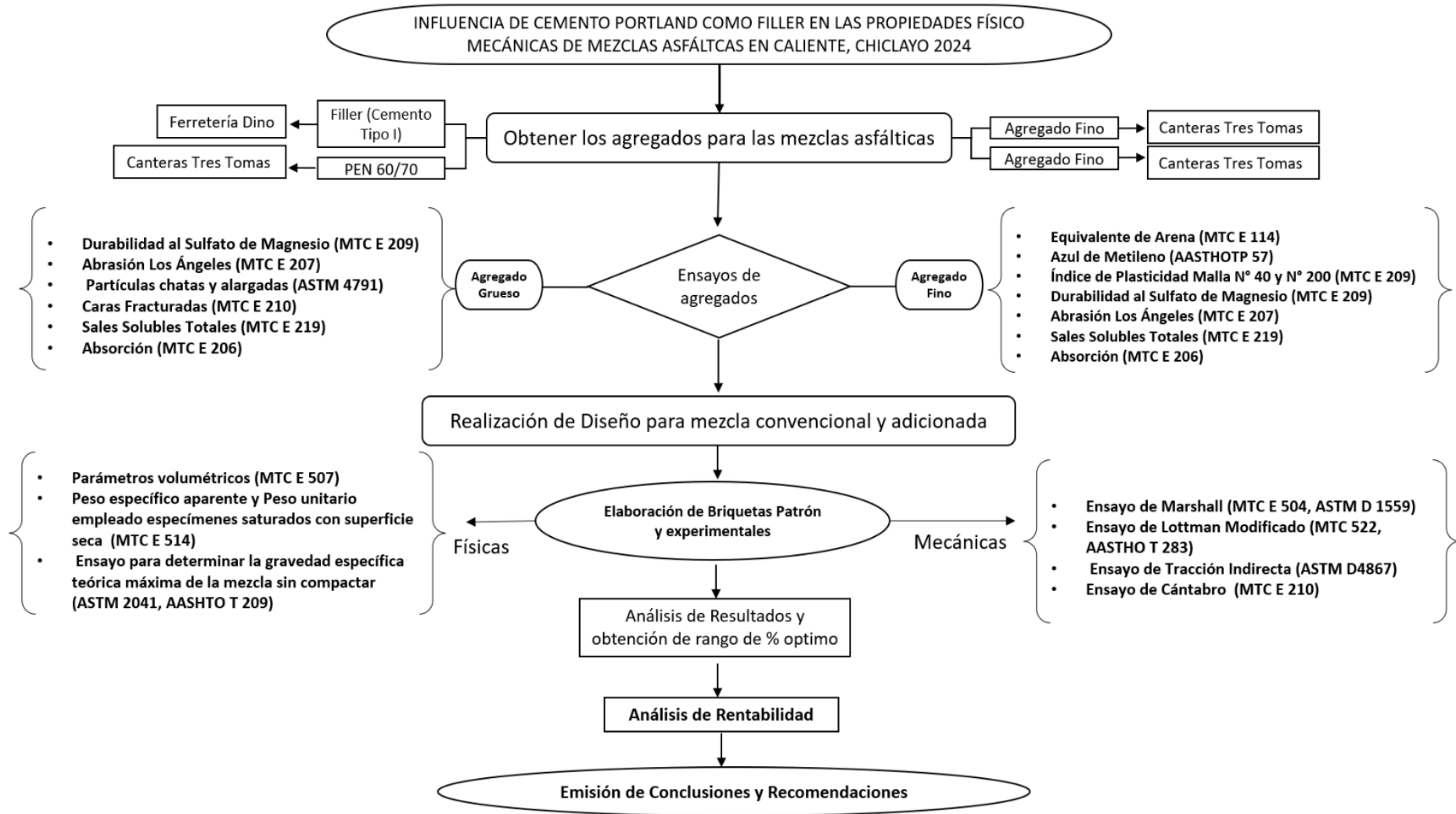
Fichas técnicas

Se utilizaron fichas técnicas para registrar el contenido asfáltico, nivel gradación, cantidad de proporción

Instrumentos

Los instrumentos empleados en la investigación consistieron principalmente en aquellos requerimientos estandarizados por el MTC, ASTM y AASHTO para realizar los ensayos de laboratorio establecidos.

Tabla 18: Diagrama de flujo



Nota 7: Elaboración propia

Materiales y métodos

Procedimiento

Proceso de Obtención de Materiales

Cemento Asfáltico y Agregado Pétreos

El cemento asfáltico PEN 60/70 y los agregados pétreos utilizados para realizar los ensayos de laboratorio serán adquiridos de la Cantera tres Tomas.

Ilustración 1: Visita de la Cantera tres Tomas



Agregado grueso y Agregado fino

Los agregados gruesos y agregados finos utilizados para realizar los ensayos de laboratorio serán adquiridos de la Cantera tres Tomas ubicada en el distrito de Mesones Muros provincia de Ferreñafe, cuyo departamento es la región de Chiclayo.

Ilustración 2: Visita a la Cantera tres Tomas - Ferreñafe



Filler o Relleno Mineral

El Filler empleado fue Cemento Portland Tipo I adquirido en una tienda comercial.

Ensayo de caracterización de los agregados

Los agregados deberán cumplir con los requisitos señalados en el MTC EG-2013 Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado Para este ensayo se consideró una muestra 2000 gr fino y 3000 gr grueso. Se llevan al horno durante un período de 24h para, posteriormente, determinar la masa final en gramos una vez que esté completamente seca pesarla

Ilustración 3 Contenido de humedad total de los agregados por secado



Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Para este ensayo se realizó una granulometría global con una muestra de 6000 gr de agregado entre fino y grueso. Consiste en seleccionar los tamices normalizados según las especificaciones y encajarlos adecuadamente en orden descendiente colocando la muestra en el tamiz superior, realizando el tamizado de manera manual.

Ilustración 4 Análisis Granulométrico de agregados



Durabilidad al sulfato de sulfato de magnesio

Para este ensayo se considera una muestra de 100 g de agregado fino y grueso retenido en los tamices normalizados según las especificaciones. Consiste en la inmersión de las muestras en la solución de sulfato de magnesio durante aprox. 16h y taparlas para evitar el contacto con otras sustancias. Posteriormente se escurren y llevan al horno durante 24h repitiendo el mismo proceso durante cinco ciclos. Finalmente, se lavan los agregados para quitar cualquier residuo de sales, se tamizará según la muestra y se pesará para determinar su % de desgaste.

Ilustración 5 Durabilidad al sulfato de magnesio



Sales Solubles en agregados para pavimentos flexibles

Para este ensayo se considera una muestra de 500 gr de agregado fino y grueso. Consiste en colocar las muestras en recipientes que las cubren totalmente con agua destilada y agitarlas aprox.10 min. Luego, se toma una porción de la totalidad del agua de lavado y se realiza un proceso de cristalización para calcular la cantidad de sales presentes en la muestra. Posteriormente, calentar las muestras hasta su ebullición y decantar en un vaso de precipitación. Finalmente llevarlos al horno durante 24h y calcular el % de sales solubles.

Ilustración 6. Sales solubles totales en agregados



Peso específico y absorción de agregados gruesos

Para este ensayo se consideró una muestra de 4000 gr. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados sumergidos en agua después de 24h. Posteriormente, se remueve el agua de la muestra hasta estar superficialmente seca, Inmersión durante 16h aprox. Lavado de las muestras Peso de las muestras al final del ensayo Muestra de agregado grueso Ebullición de las muestras Peso final de la muestra Ilustración 7. Sales solubles totales en agregados 51 después se sumerge en la canastilla y se pesa, por último, llevar nuevamente la muestra al horno.

Ilustración 7 Peso y absorción de agregados gruesos



Abrasión Los Ángeles al Desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm

Para este ensayo se considera una muestra de 5000gr, considerando una gradación tipo B para cual trabajamos con 2500 gr de cada tamiz normalizado según las especificaciones y con 11 esferas. Colocándola y la carga en la máquina de los ángeles girándola a una velocidad de 30 rpm a 33 rpm, por 500 revoluciones, luego descargar el material y tamizar por la malla n°10. Finalmente se pesa el material libre de revestimiento.

Ilustración 8. Abrasión Los Ángeles al Desgaste

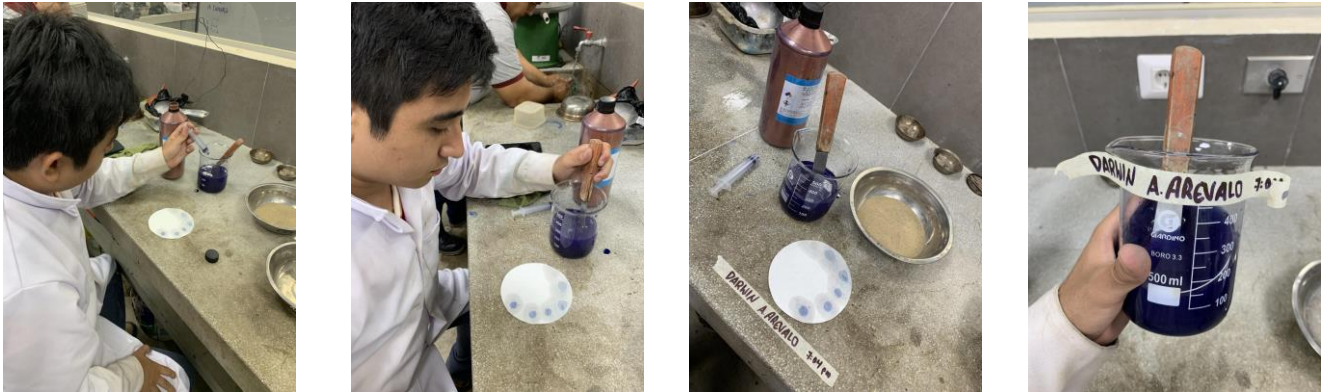


Ensayo de Azul de metileno

Para este ensayo se considera una muestra de 5 gr de agregado fino tamizado por la malla N°200. Posteriormente se coloca el material en un vaso de precipitación con la solución de azul de metileno en agua destilada donde se tintura la suspensión de finos en alícuotas de 1ml sin

detener la agitación hasta formar un halo de color azul de cian. Finalmente se esparce sobre el papel filtro para observar la acción de la gota.

Ilustración 9. Azul de metileno



Método de Ensayo Estándar para la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso

Para este ensayo lavar la muestra y llevarla al horno durante 24h, posteriormente extender la muestra seca para realizar una inspección adecuada y correcta permitiendo la verificación del criterio de fractura, el cual consiste en considerar como una cara fracturada si es al menos un cuarto de la máxima sección transversal.

Ilustración 10. Partículas Fracturadas



Partículas chatas y alargadas en agregados para pavimentos flexibles

Para este ensayo se considera una muestra cuarteada y posteriormente tamizada según las especificaciones, posteriormente se ensaya cada partícula y clasifica en tres grupos: chatas, alargadas y ni chatas ni alargadas de acuerdo con el criterio. Finalmente determinar la proporción por grupo por conteo.

Ilustración 11. Partículas chatas y alargadas



Gravedad específica y absorción de agregados finos

Para este ensayo se considera una muestra de 500 gr. Posteriormente introducirla en una fiola y llenarla con 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar las burbujas de aire aprox. 20 min y dejarla reposar 24h. Finalmente remover el agregado, decantar el agua evitando pérdida de la muestra, llevarla al horno, enfriar y determinar su peso.

Ilustración 12. Gravedad específica y absorción de agregado fino

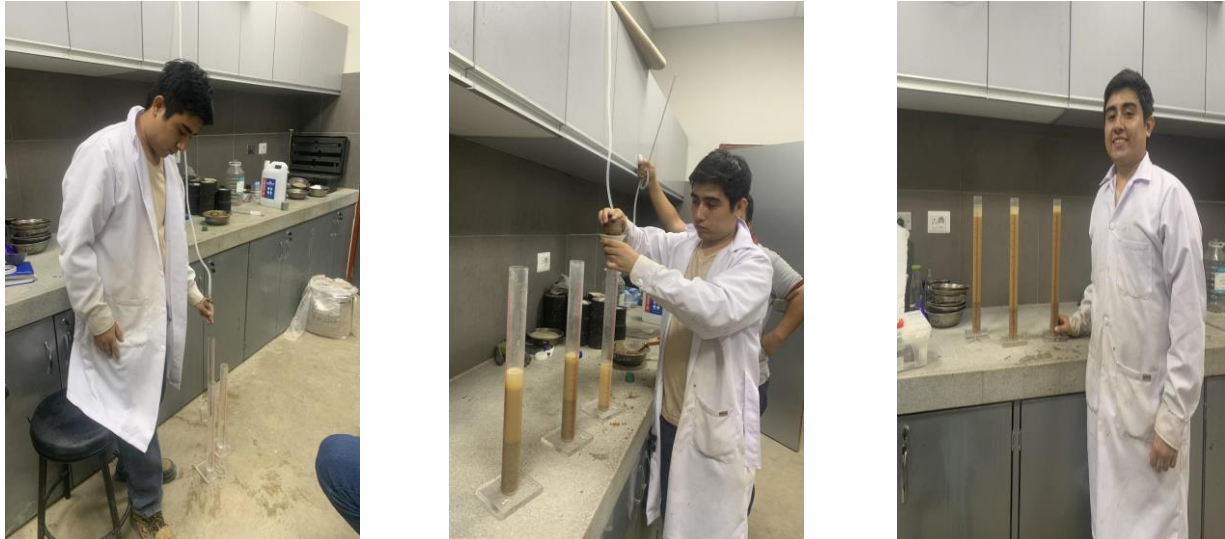


Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena y agregado fino

Se prepara la solución stock disuelta en un galón de agua destilada. Para este ensayo se considera una muestra tamizada por la malla n°4, consolidándose con la solución en una probeta graduada y agitándose durante 1 min. Posteriormente repetir el mismo proceso dos veces en

diferentes probetas y registrar la cantidad de material con 25 golpes al ras para calcular el promedio final durante diferentes intervalos de tiempo.

Ilustración 13. Equivalente de arena



Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

Para este ensayo se considera una muestra de 140 gr de agregado fino tamizada por la malla n°40 y la N°200. Posteriormente se coloca el material en un recipiente de plástico agregando agua destilada hasta mezclar completamente la muestra. Colocar la muestra en la cuchara de Casagrande, esparcirla de manera uniforme, con ayuda del acanalador dividir la muestra haciendo una ranura y registrar las cantidades de golpes ejecutados para cerrar la ranura. Finalmente tomar partes de las muestras, colocarlas en las taras previamente pesadas y calcular el contenido de humedad de cada muestra.

Ilustración 14. Límites de plasticidad



Ensayos para evaluar el comportamiento de la MAC

Ensayo de Marshall

Este método busca determinar el contenido óptimo de asfalto en una cantidad de agregados. Elaboramos la mezcla asfáltica siguiendo las especificaciones del TMN, utilizando una gradación MAC-2. Las briquetas se realizan con diferentes proporciones de cemento asfáltico para obtener resultados representativos y encontrar el valor ideal. Se preparan con incrementos de 0.5% de asfalto, asegurando un peso total de 1200 gramos de materiales en cada una. Se fabricarán tres para cada C.A. El proceso incluye calentar los agregados, verter el cemento asfáltico caliente, y mezclar para obtener una consistencia homogénea. Se calientan simultáneamente el molde, collar y placa de base a 150 °C.

Ilustración 15. Pesaje y añadido de agregados y cemento asfáltico.



Antes de compactar, se ensambla el molde y se recubre con varsol, colocando papel filtro en el fondo. Compactamos dando 55 golpes por ambas caras con ayuda del compactador manual, se enfría el molde durante 24 horas a temperatura ambiente.

Ilustración 16. Mezcla de agregados y compactación de especímenes.



Retiramos la briqueta para proceder con su extracción utilizando el eyector de muestras, finalmente realizamos lo mismo para todas.

Ilustración 17. Extracción de especímenes.



Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras

Después de determinar la densidad de las briquetas, se realiza el ensayo de estabilidad y flujo Marshall. Esto implica someterlas a baño maría a una temperatura de aproximadamente 60°C durante intervalos de 30 a 40 minutos. Posteriormente, se lleva a cabo el ensayo de las briquetas utilizando el equipo Marshall, aplicando una carga con una tasa de deformación constante de 50 milímetros por minuto.

Ilustración 18 .Densidad de las muestras.



Ilustración 19. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestra.



Finalmente, luego de realizar el ensayo de Marshall se procede a reservar 1,500 gr de una muestra por cada % C.A para hallar la gravedad específica máxima de estas mediante el ensayo de Rice. Se llena el frasco a la mitad de su capacidad, se pesa y luego se añade la muestra. Posteriormente se procede al vacío parcial del aire a una presión de 30 mm de Hg. durante 15 minutos. Finalmente se pesa el frasco con el agua y la muestra final.

Ilustración 20. Ensayo de Gravedad Específica.



Ensayo de Cántabro

Luego de la elaboración de las briquetas, se determinó la masa de las muestras, previamente antes de someterlas a pruebas se conservaron a una temperatura mínima de ensayo. Posteriormente se colocó una probeta con la misma proporción de C.A con y sin adición de

Filler dentro de la máquina de los Ángeles, a 30 rpm 300 revoluciones. Además, es importante destacar que no se incluyó la carga abrasiva de las bolas en este proceso. Luego de completar el ciclo de rotación de la probeta en el tambor se registró el peso final. Este proceso se repite para cada porcentaje de C.A y cada briqueta preparada. Finalmente se realizan a los cálculos para hallar el porcentaje de desgaste.

Ilustración 21. Ensayo de Cántabro



Ensayo de Lottman Modificado

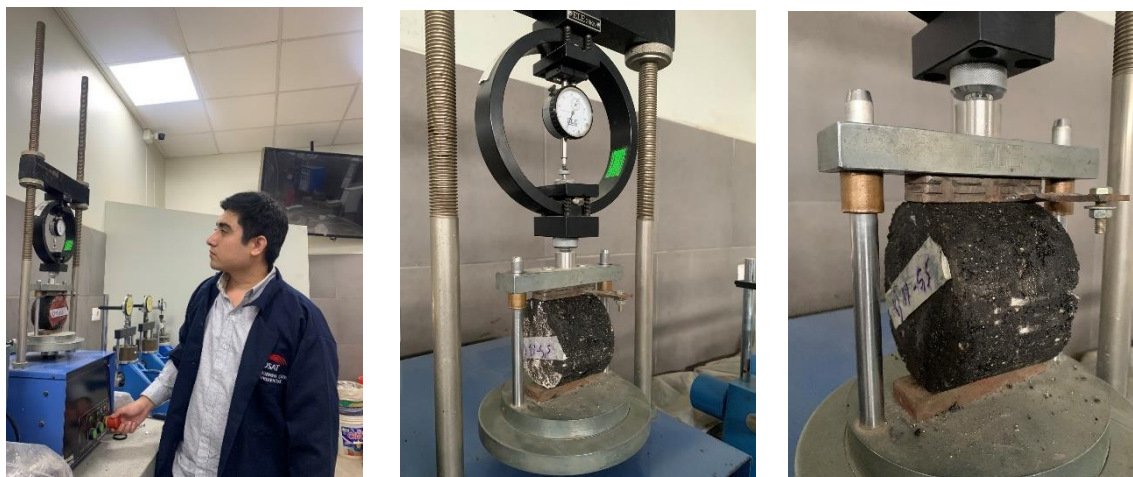
Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, este ensayo elabora tres muestras secas y tres muestras húmedas luego de haber sido sometidas a una temperatura de -16°C , además de determinar la resistencia al daño causado por la humedad la densidad de las briquetas.

Ilustración 22. Preparación de la muestra.



Posteriormente las muestras son sometidas a baño maría a una temperatura de aproximadamente 60°C durante intervalos de 30 a 40 minutos. Finalmente, se emplea una carga de compresión en los ejes diametrales de las muestras de prueba.

Ilustración 23. Ensayo Lottman Modificado



Resultados y discusión

Resultados

Contenido de humedad

Agregado fino

Tabla 19: Resultado de contenido de humedad para agregado fino

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.00
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2270.60
C.- Peso de recipiente	(gr.)	280.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.47

Los resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio para evaluar el contenido de humedad de los agregados finos es 0.47 %.

Agregado grueso

Tabla 20: Resultado de contenido de humedad para agregado grueso

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	3000.00
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	3274.80
C.- Peso de recipiente	(gr.)	280.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.17

Los resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio para evaluar el contenido de humedad de los agregados grueso es 0.17 %.

Peso específico

Agregado fino

Tabla 21: Resultados del Peso específico para agregados finos

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1018.22
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	706.26
3.- Peso del Agua	(g)	311.96
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	704.76
5.- Peso del Frasco	(g)	206.26
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498.50
7.- Volumen del frasco	(g)	500
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.651
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.659
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.672
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.30

El resultado del ensayo de Peso específico en el agregado fino es de 0.30 %.

Agregado grueso

Tabla 22: Resultados del Peso específico para agregados gruesos

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3000.00
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3018.00
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso de la canastilla	(g)	2750.00
4.- Peso de la canastilla	(g)	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1870
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.613
PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.629
PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.655
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.60

Tabla 23: Resultados del Ensayo Azul de Metileno

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado	Especificación EG -213	
		NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO pasa 200	Cada 0.5 ml	7.0	5.0	1.4	-	8

El resultado del ensayo de Azul de metileno del agregado fino es de 8%.

Sales Totales

Agregado grueso

Tabla 24: Resultados de las Sales totales para los agregados gruesos

01	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5.00
02	Número de beaker		1
03	Peso de beaker		g. 31.62
04	Peso de beaker + residuo de sales		g. 31.64
05	Peso de residuo de sales	(4)-(3)	g. 0.02
06	Volumen de la solución tomada		ml 350
07	Constituyentes de sales solubles totales	$[[(5) \times (1000000)] / (6)] \times (1)$	ppm 57
08	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(7) / 10000	(%) 0.01

El resultado del ensayo de Ensayo de Sales solubles del agregado grueso es de 0.01%.

Agregado fino

Tabla 25: Resultado de las Sales totales para agregados finos

01	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5.00
02	Número de beaker		1
03	Peso de beaker	g.	49.30
04	Peso de beaker + residuo de sales	g.	49.31
05	Peso de residuo de sales	(4)-(3) g.	0.01
06	Volumen de la solución tomada	ml	250
07	Constituyentes de sales solubles totales	$[[(5) \times (1000000)] / (6)] \times (1)$ ppm	40
08	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(7) / 10000 (%)	0.004

El resultado del ensayo de Ensayo de Sales solubles del agregado grueso es de 0.004 %

Durabilidad de los Sulfatos

Agregado grueso

Tabla 26: Resultados de Durabilidad de los Sulfatos para los agregados gruesos

TAMICES		Porcentaje de pérdida
Pasa	Retiene	pesado
2"	1 1/2"	0.0
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	0.0
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	7.3
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	3.3
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	1.9
9.5 mm	4.75 mm	
Desgaste Total		12.5

El resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso es de 12.5 %.

Agregado fino

Tabla 27: Resultados para la Durabilidad de los Sulfatos para los agregados finos

TAMICES		Porcentaje de pérdida
Pasa	Retiene	pesado
3/8"	Nº 4	2.0
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	2.2
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	2.3
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	2.1
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	2.1
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	2.1
300 µm	150 µm	
Desgaste Total		15.3

El resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino es de 15.3%.

Gravedad específica

Tabla N° 1. Resultados de la

			Filler
1. N° de fiola			F-2
2. Peso de la fiola	g.		201.38
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g.		500.0
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiola	(2+3) g.		701.4
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	g.		1019.2
6. Peso de la fiola + peso de agua	g.		980.3
7. Peso específico relativo de sólidos (G_s)	$(3) / ((3+6)-5)$	g/cm ³	1.084

Gravedad específica

Resultado del ensayo de la gravedad específica es de 1.084 %.

Límites de Consistencia

Límite Líquido

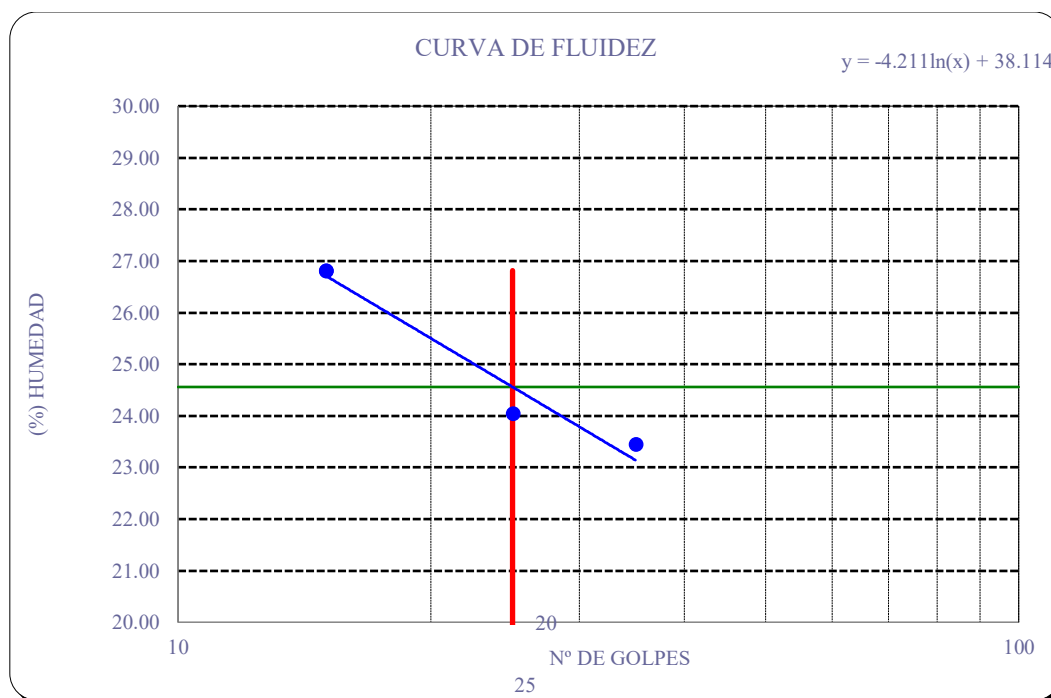
Tabla N° 2. Resultados del Límite líquido

Datos de ensayo	Límite líquido				Límite Plástico		
	L-1	L-2	L-3	1	L-4	32	
N° de tarro							
N° de golpes	35	25	15	15	15.14	15.14	
Tarro + suelo húmedo	18.15	18.18	18.10	18.10	15.14	15.14	
Tarro + suelo seco	16.50	16.53	16.48	16.48	13.95	13.95	
Agua	1.65	1.65	1.62	1.62	1.19	1.19	
Peso del suelo seco	9.13	9.12	9.11	9.11	6.61	6.61	
Porcentaje de humedad	18.07	18.09	17.78	17.78	18.00	18.00	NP

Límite Plástico

Tabla N° 3. Resultado del Límite plástico

Datos de ensayo	Límite líquido				Límite Plástico		
	L-1	L-2	L-3	1	L-4	32	
N° de tarro							
N° de golpes	35	25	15	15	15.11	15.11	
Tarro + suelo húmedo	16.91	18.35	16.84	16.84	15.11	15.11	
Tarro + suelo seco	15.05	16.22	14.77	14.77	13.7	13.7	
Agua	1.86	2.13	2.07	2.07	1.41	1.41	
Peso del suelo seco	7.93	8.86	7.72	7.72	6.35	6.35	
Porcentaje de humedad	23.46	24.04	26.81	26.81	22.20	22.20	NP

Ilustración 24. Curva de Fluidez**Equivalente de arena****Tabla N° 4. Resultados del equivalente de arena**

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	6.70	6.80	6.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.20	4.30	4.40
EQUIVALENTE DE ARENA	67.16 %	63.24 %	67.69 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	67 %		

El resultado del ensayo de Equivalente de arena es de 67 %.

Abrasión**Tabla N° 5. Resultados de la Abrasión**

- Peso inicial antes del ensayo	5000.0
- Peso final después de las 200 revoluciones	4889.0
- Peso final después de las 500 revoluciones	4367.0
- % de desgaste por abrasión	12.7
- % de uniformidad	0.2

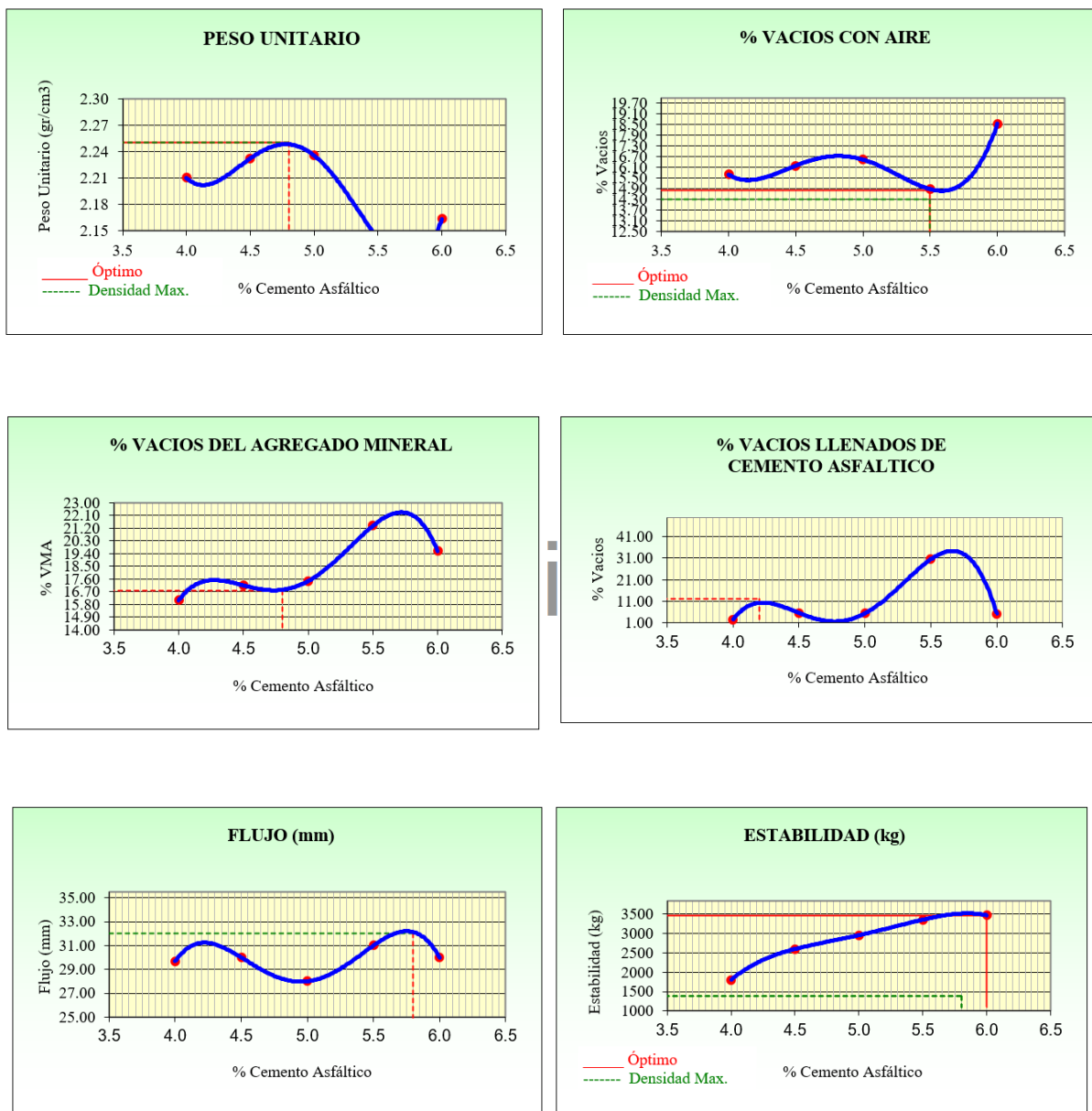
El resultado del ensayo de Abrasión es de 0.2 %.

Granulometría global

Representación gráfica del diseño asfáltico mediante el método de Marshall

Las siguientes representaciones gráficas fueron realizadas mediante el método de Marshall según el ASTM D 1559 – AASTHO T 245, considerando el contenido de asfalto en el eje x, mientras que los parámetros de diseño se evalúan en el eje y.

Ilustración 25. Gráficos % Contenido de asfalto vs. Parámetros de diseño para MAC convencional



Ensayo de Cántabro

Para realizar el ensayo de cántabro se procede a la elaboración de briquetas, siguiendo metodología Marshall, que se explicó anteriormente. Siendo una total de 6 briquetas para cada diseño de una MAC. Además, estas tendrán una compactación de 50 golpes por lado siendo sometidas a la máquina de los ángeles sin carga abrasiva de las esferas a 30 rpm (300 vueltas) para realizar dicho ensayo.

Tabla N° 6. Resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste – Cántabro

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
Nº DE BRIQUETA	TIPO DE MEZCLA	% DE PET	Nº DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1141.82	1064.82	6.74%	5.13%
2	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1181.91	1137.95	3.72%	
3	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1161.77	1117.71	3.79%	
4	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1167.13	1125.23	3.59%	
5	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1208.97	1188.10	1.73%	
6	CONVENCIONAL	0%	300	NO ESPECIFICADA	1186.65	1053.66	11.21%	

Los resultados del ensayo de mezclas bituminosas mediante la pérdida por desgaste – Cántabro indican que el desgaste de una MAC y MAM es de 3.31% respectivamente, cumpliendo con las especificaciones establecidas en el MTC E 515, donde indica que el desgaste no deberá ser superior al 25%, al 25 °C y tras ser sometidas las briquetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%.

Análisis económico de la Propuesta planteada

Tras el desarrollo y obtención de la muestra patrón y modificada se realizó un análisis de costos obteniendo lo siguiente:

PRESUPUESTO					
PROYECTO:	CARRETERA				
SUBPRESUPUESTO:	CARRETERA				
CLIENTE:					
UBICACION:	- - -				
FECHA BASE:	2022-11-27				
MONEDA:	SOLES				
Item	Partida	Unidad	Metrado	CU	Parcial
1	PAVIMENTO ASFALTO PATRÓN				770.55
1.1	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE(E= 0.05 m.)	M3	1.00	770.55	770.55
2	PAVIMENTO ASFALTO ÓPTIMO 7% 5.5% FILLER				846.43
2.1	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE (E= 0.05 m.)	M3	1.00	846.43	846.43

Discusión

Contenido de Humedad

Los resultados del contenido de humedad en los agregados (0.47% para finos y 0.17% para gruesos) muestran niveles bajos de agua en el material, lo cual es favorable para la mezcla asfáltica. Un bajo contenido de humedad evita problemas de adherencia entre el ligante asfáltico y los agregados, mejorando la cohesión general de la mezcla y reduciendo el riesgo de deterioro prematuro por descomposición o separación del material asfáltico.

Peso Específico y Absorción

El ensayo de peso específico y absorción indicó valores de 0.30% para el agregado fino y 0.60% para el agregado grueso. Estos resultados son adecuados, ya que reflejan que los agregados tienen una absorción controlada, permitiendo que el cemento asfáltico se adhiera sin riesgo de desintegración. Una absorción baja en los agregados favorece una mezcla estable, optimizando la durabilidad y la resistencia mecánica de la estructura del pavimento.

Ensayo de Azul de Metileno

El valor obtenido en el ensayo de azul de metileno (8%) revela que los agregados presentan una baja presencia de materiales arcillosos o contaminantes finos. Esto es positivo, ya que una mayor proporción de arcillas podría afectar la adherencia y estabilidad de la mezcla, comprometiendo la durabilidad en condiciones húmedas. Así, los resultados aseguran que el agregado fino cumple con los requisitos de pureza para un desempeño adecuado en la mezcla asfáltica.

Sales Solubles

Los valores obtenidos en el ensayo de sales solubles (0.01% en agregados gruesos y 0.004% en finos) son mínimos, indicando una baja concentración de sales en el material. Este bajo contenido de sales evita problemas de descomposición y asegura una buena cohesión entre el cemento asfáltico y los agregados, incluso en ambientes húmedos. La ausencia de sales perjudiciales garantiza la integridad y vida útil de la mezcla asfáltica bajo condiciones de exposición a la humedad.

Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Los resultados de durabilidad al sulfato (12.5% de pérdida en el agregado grueso y 15.3% en el fino) cumplen con los estándares de resistencia a la desintegración. Estos valores aseguran que los agregados presentan una buena resistencia frente a condiciones de congelación y deshielo o ataques químicos, lo que es especialmente relevante para mezclas expuestas a ciclos húmedo-seco o áreas donde el pavimento esté en contacto con sales y otras sustancias agresivas.

Ensayo de Abrasión Los Ángeles

La abrasión del agregado con un desgaste de 12.7% muestra una resistencia adecuada frente al tránsito constante. Este resultado indica que los agregados poseen la resistencia necesaria al desgaste mecánico, lo cual es esencial para la durabilidad del pavimento en condiciones de tráfico pesado. Esto se traduce en un pavimento más duradero y con menor susceptibilidad a la fragmentación superficial.

Ensayo de Cántabro

Los valores de pérdida obtenidos en el ensayo de Cántabro, con un desgaste promedio en la adición de 5% de 8.06 comparado con el patrón que se obtuvo 13.99% esto en ligero y para tránsito pesado 11.34% de patrón y 6.43% de modificado, cumplen con los límites establecidos por la norma MTC E 515, que establece que la pérdida máxima en el desgaste no debe exceder el 25%. Este resultado indica que la mezcla asfáltica posee una resistencia adecuada al desgaste por fricción, lo cual es un indicador positivo de durabilidad en condiciones de servicio, ya que la mezcla mantiene su integridad estructural al ser sometida a tráfico constante.

Ensayo de Lottman Modificado

El valor conseguido de TRS es 113% cuyo valor es aceptable debido a que según norma este debe ser mayor a 80%, el ensayo de Lottman es crucial para determinar la susceptibilidad a la humedad y la pérdida de adherencia entre el cemento asfáltico y los agregados en condiciones de saturación. Este ensayo evalúa la capacidad de la mezcla para resistir la desintegración cuando se expone a la humedad. La baja presencia de sales y la adherencia adecuada del cemento Portland aseguran que la mezcla mantendría su estabilidad estructural en condiciones húmedas, reduciendo el riesgo de desprendimiento de partículas por el tráfico.

Ensayo de Rice (Gravedad Específica Máxima)

El ensayo de Rice, que permite calcular la gravedad específica máxima de la mezcla, asegura que se obtenga la densidad ideal en la mezcla asfáltica, factor clave para la resistencia y durabilidad del pavimento. Un valor obtenido en el patrón fue de 2.27, mientras en la modificación fue de 2.27 adecuado de densidad máxima indica una mezcla bien compactada con el mínimo de vacíos, lo cual contribuye a mejorar la impermeabilidad de la mezcla y su resistencia al envejecimiento y a la fatiga.

Conclusiones

La adición de cemento Portland como filler en la mezcla asfáltica incrementa notablemente la cohesión y estabilidad de la mezcla, permitiendo una mejor unión entre los agregados y el ligante asfáltico. Esto contribuye a una mayor resistencia al tráfico constante y a las cargas dinámicas, esenciales para las vías urbanas.

Los resultados demuestran que los agregados tienen una alta resistencia al desgaste, con un valor de abrasión de 12.7% y una pérdida de 5.13% en el ensayo de Cántabro. Esto confirma la idoneidad de la mezcla para soportar tráfico constante y condiciones de fricción, asegurando su durabilidad.

Los resultados de los ensayos de abrasión y Cántabro evidencian que la mezcla modificada con cemento Portland presenta una mayor resistencia al desgaste. Esto sugiere una prolongación en la vida útil del pavimento, ya que la mezcla es menos susceptible a la abrasión y a la pérdida de material en la superficie.

El cemento Portland mejora la resistencia de la mezcla asfáltica modificada a los efectos de la humedad, como lo indican los ensayos de Lottman. Esta resistencia a la pérdida de adherencia en presencia de agua es fundamental para evitar el deterioro acelerado en climas húmedos o durante la temporada de lluvias.

Con el uso del cemento Portland, la mezcla asfáltica alcanza una densidad óptima, lo cual mejora su impermeabilidad y resistencia a deformaciones. Esto asegura una compactación uniforme y estable, reduciendo la presencia de vacíos y el riesgo de fisuras.

La mezcla modificada con cemento Portland demuestra propiedades físico-mecánicas mejoradas que la hacen especialmente adecuada para pavimentos en áreas urbanas con alto tránsito vehicular, como la ciudad de Chiclayo. Su mayor durabilidad y resistencia ante el desgaste y la humedad la posicionan como una solución eficaz para prolongar la vida útil de la infraestructura vial en la región.

Recomendaciones

Realizar estudios a largo plazo sobre el envejecimiento y durabilidad de la mezcla: Para evaluar el desempeño de la mezcla modificada en condiciones de tráfico constante y climas cambiantes, se recomienda realizar un seguimiento a largo plazo. Esto permitirá observar cómo se comporta la mezcla en términos de resistencia al envejecimiento y deterioro en la práctica.

Implementar la mezcla modificada en proyectos piloto de pavimentación urbana: Dado el buen desempeño de la mezcla con cemento Portland en términos de resistencia al desgaste y estabilidad, se sugiere su aplicación en proyectos piloto en vías urbanas de alto tráfico en Chiclayo. Esto permitirá validar su rendimiento en condiciones reales y analizar posibles ajustes para mejorar aún más su durabilidad.

Evaluar el impacto de la mezcla modificada en diferentes climas y tipos de suelo: Si bien los resultados obtenidos son prometedores para Chiclayo, se sugiere evaluar la mezcla en climas extremos (altas o bajas temperaturas) y en distintos tipos de suelos. Esto brindará información sobre su aplicabilidad y adaptabilidad en otras regiones del país.

Desarrollar estudios sobre la relación costo-beneficio del uso de cemento Portland como filler: Considerando los beneficios técnicos observados, se recomienda realizar una evaluación económica para determinar el impacto del cemento Portland en los costos de construcción y mantenimiento de pavimentos. Esto facilitará la toma de decisiones para su aplicación en proyectos de infraestructura vial a mayor escala.

Se recomienda que el desarrollo de esta investigación se sustente en un enfoque estadístico inferencial, complementado con técnicas de diseño de experimentos. Esta combinación metodológica permitirá establecer relaciones significativas entre variables, validar hipótesis y obtener resultados con un alto grado de confiabilidad y aplicabilidad.

Asimismo, se sugiere tomar como referencia estudios previos y literatura especializada que aborden tanto los fundamentos teóricos como las aplicaciones prácticas de dichos enfoques, con el fin de fortalecer la estructura metodológica del trabajo y asegurar su pertinencia científica.

Referencias

- [1] L. Winkless, «Cómo fallan las carreteras y por qué van a empeorar,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com/sites/lauriewinkless/2023/08/30/how-roads-fail-and-why-theyre-set-to-get-worse/?sh=681ec56dd003>.
- [2] Q. A.C y Barboza, «Deterioro Prematuro de los Pavimentos Flexibles de la zona urbana de la ciudad de Chota,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Deterioro-prematuro-de-los-pavimentos-flexibles-de-Quispe-Barboza/d43293acb4e1271e68a5239f4b1f6912649d41a6>.
- [3] B. Neal, «El deterioro del pavimento asfáltico y sus causas,» 2022. [En línea]. Available: https://www.pavemanpro.com/article/deterioration_asphalt_causes/.
- [4] M. López, «El fenómeno del El niño impacto y respuesta en el sector vial de América Latina y Caribe,» [En línea]. Available: <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2023/10/el-fenomeno-de-el-nino-impacto-y-respuestas-en-el-sector-vial-de-america-latina-y-el-caribe/>.
- [5] A. Abanto, «La gestión de riesgo en las concesiones viales: Lecciones del Fenomeno de El niño Costero,» [En línea]. Available: <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2018/11/Informe-Defensorial-N%C2%B0-178-La-gesti%C3%B3n-de-riesgos-en-las-concesiones-viales-Lecciones-del-fen%C3%B3meno-El-Ni%C3%B1o-Costero.pdf>.
- [6] W. Aranda, «Pista de Trujillo queda inservible,» *La república*, 2023. [En línea]. Available: <https://larepublica.pe/sociedad/2023/06/15/trujillo-pistas-querian-que-quedarian-inservibles-lrnd-1384980>.
- [7] C. Vásquez, «Lambayeque: Pistas destruidas y falta de PDU revelan abandonos de JLO en los últimos años,» *La república*, 2023. [En línea]. Available: <https://larepublica.pe/sociedad/2023/08/25/lambayeque-pistas-destruidas-y-falta-de-pdu-revelan-abandono-de-jlo-en-los-ultimos-anos-jose-leonardo-ortiz-chiclayo-plan-de-desarrollo-urbano-instituto-nacional-de-estadistica-e-informatica-875712>.
- [8] J. P. Gutierrez Patzi, «Estudio de Mezclas asfálticas en caliente modificando el filler mineral por cemento portlán, aplicado en carpeta de rodadura,» [En línea]. Disponible: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fpostgrado.uto.edu.bo%2Ftesis%2Fattachments%2Farticle%2F190%2FESTMEZCLASASFALTCALIENTE%2520MODIF%2520FILLER%2520MINERAL%2520NAT.doc&wdOrigin=BROWSELINK>.

- [9] G. J. A. Aioub H. Guha, «Effect of Portland cement as a filler in hot-mix asphalt in hot regions,» *ScienceDirect*, 2020. [En línea]. Available: <https://www-sciencedirect-com.usat.lookproxy.com/science/article/pii/S2352710219309581>.
- [10] A. M. K.-W. L. Xijun Shi, «Mix design formulation and evaluation of portland cement concrete paving mixtures containing reclaimed asphalt pavement,» *ScienceDirect*, [En línea]. Available: <https://www-sciencedirect-com.usat.lookproxy.com/science/article/pii/S0950061817313156>.
- [11] J. Quispe Martínez, «Influencias de la adición de cal hidratada o cemento a la estabilidad y fluencia dentro del diseño mezcla asfáltica en caliente, Pilcomayo–2018,» [En línea]. Available: https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/9019/tesis_Adicci%C3%B3n.Ca1%20hidratada_cemento_estabilidad.Fluencia_dise%C3%B1oMezcla_Asf%C3%A1lticaenCaliente_Pilcomayo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [12] F. L. Valera Núñez, «Evaluación del Efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica,» 2018. [En línea]. Available: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1288>
- [13] M. E. 1.-2. «Análisis granulométrico de suelos por tamizado», ASTM D 422 y AASHTO T88,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/32139723/AN%C3%81LISIS_GRANULOM%C3%89TRICO_DE_SUELOS_POR_TAMIZADO_MTC_E_107_2000
- [14] . M. E. 2. - 2. «Peso específico y absorción de agregados gruesos», ASTM C 131 y ASTM C 535,» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/Abrasion-los-angeles-1-a-al-desgaste-de-los-agregados-de-tamanos-menores-de-37-5-mm-1-1/20232218-2-mtc-e-207-2000.html>
- [15] A. D. 1. A. T. 2. «Ensayo Marshall,» [En línea]. Available: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf
- [16] C. F. C. Castillo, «Diseño de mezclas de carbon y carbon-biomasa para producción de briquetas gasificables en el echo fijo,» Tesis de pregrado, Tunja, Universidad Pedagógica. y 34 Tecnológica de Colombia, Colombia, 2018, [En línea]. Available: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3035/1/TGT_1618.pdf.

[17] M. F. F. J. A. G. L. H. D. A. P. Garnica Anguas, «Caracterización Geomecánicas de mezclas asfálticas,» Laboratorios de infraestructura, México, 2005, [En línea]. Available: <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>.

[18] S. Minaya y A. Ordoñez, «Diseño de mezclas asfálticas,» Cap. 10. , [En línea]. Available: <https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/acapitulo-10-disec3b1o-de-mezclas-asfc3a1lticas.pdf>.

[19] A. P. Rodríguez, «Mezclas asfálticas,» Cap. 3, [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14>.

[20] N. CMT, «Materiales asfálticos, aditivos y mezclas,» Parte 4. Materiales para pavimentos, Cap. 1. Calidad de materiales asfálticos, [En línea]. Available: <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-001-05.pdf>.

[21] M. d. Carreteras, «Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013,» [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20EG-2013.pdf.

Anexos

ANEXO N° 1: PROPUESTA ECONOMICA

SUB PARTIDAS - ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PROYECTO: CARRETERA						
SUBPRESUPUESTO: CARRETERA						
CLIENTE:						
UBICACION: - - -						
FECHA BASE:						
MONEDA: SOLES						
PREPARACION DE LA MEZCLA ASFALTICA (CALIENTE)						
Rendimiento: 4,367.0000 M2/DIA						
Unidad: M2						
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	16.39
CAPATAZ	HH	1.0000	0.0018	25.75	0.05	
OFICIAL	HH	2.0000	0.0037	16.33	0.06	
PEON	HH	10.0000	0.0183	14.72	0.27	
				Mano de obra:	0.38	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	GAL		1.4000	6.66	9.32	
ARENA	M3		0.0260	50.00	1.30	
PIEDRA CHANCADA	M3		0.0300	100.00	3.00	
FILLER (CEMENTO)	KG		2.2000	0.60	1.32	
				Materiales:	14.94	
PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE 65-115 TN/HR	HM	1.0000	0.0018	342.98	0.62	
SECADOR DE ARIDOS 65-115 TN/H	HM	1.0000	0.0018	46.90	0.08	
CARGADOR FRONTAL 930B, 100 HP 1.7 YD3	HM	1.0000	0.0018	200.26	0.36	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.38	0.01	
				Equipo:	1.07	
TRANSPORTE A LA OBRA						
Rendimiento: 2,383.0000 M2/DIA						
Unidad: M2						
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	0.17
CONTROLADOR	HH	0.2000	0.0007	15.94	0.01	
				Mano de obra:	0.01	
VOLQUETE 6X4 330HP 10M3	HM	0.2000	0.0007	223.25	0.16	
				Equipo:	0.16	
ESPARCIDO Y COMPACTADO						
Rendimiento: 4,367.0000 M2/DIA						
Unidad: M2						
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	0.87
CAPATAZ	HH	1.0000	0.0018	25.75	0.05	
OFICIAL	HH	3.0000	0.0055	16.33	0.09	
PEON	HH	6.0000	0.0110	14.72	0.16	
				Mano de obra:	0.30	
PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69HP	HM	1.0000	0.0018	122.29	0.22	
RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70 H	HM	1.0000	0.0018	53.14	0.10	
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100 HP 5.5-	HM	1.0000	0.0018	133.15	0.24	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.30	0.01	
				Equipo:	0.57	

HOJA RESUMEN		
PROYECTO:	CARRETERA	
CLIENTE:		
UBICACION:		
FECHA BASE:	2022-11-27	
MONEDA:	SOLES	
PRESUPUESTO BASE		
1	CARRETERA	1,616.98
COSTO DIRECTO		1,616.98
	GASTOS GENERALES 10%	161.70
	UTILIDAD 10%	161.70
SUB TOTAL		1,940.38
	IGV 18%	349.27
TOTAL PRESUPUESTO		2,289.65
SON: DOS MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y NUEVE CON 65/100 SOLES		
DESCOMPUESTO DEL COSTO DIRECTO		
	MANO DE OBRA	35.95
	MATERIALES	1,479.13
	EQUIPOS	101.90
TOTAL DESCOMPUESTO DEL COSTO DIRECTO		1,616.98

ANEXO N° 2: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO N° 2.1: VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 004-2024-II

FECHA: 26 de octubre 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Darwin Paúl Ahumada Arévalo

TITULO DE LA TESIS: Influencia del cemento portland como filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.
- Peso específico y absorción del agregado grueso y fino.
- Peso unitario del agregado grueso y fino.
- Durabilidad al Sulfatos de Magnesio del agregado grueso y fino.
- Determinar las Sales solubles Totales del agregado grueso y fino.
- Determinación de partículas chatas y alargadas del agregado grueso.
- Determinación de Caras fracturadas del agregado grueso.
- Determinar el equivalente de arena.
- Azul de Metileno.
- Índice de plasticidad de las Mallas N°40 y N°200 del agregado fino.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 004-2024-II

FECHA: 26 de octubre 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Darwin Paúl Ahumada Arévalo

TITULO DE LA TESIS: Influencia del cemento portland como filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Ensayo de Abrasión por medio de la máquina de los Ángeles en Briquetas y de los mismos agregados grueso y fino.
- Ensayo de parámetros Volumétricos en briquetas.
- Ensayo de Peso específico aparente y Peso unitario en briquetas.
- Ensayo para determinar la gravedad específica teórica de la mezcla sin compactar
- Ensayo de Marshall.
- Ensayo de Lottman Modificado.
- Ensayo de Tracción Indirecta.
- Ensayo de Cántabro de pérdida por desgaste.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil



ANEXO N° 2.3: Caracterización de los agregados



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : 8 de Abril del 2024

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Arena Amarilla - Cantera Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.00
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2270.60
C.- Peso de recipiente	(gr.)	280.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.47

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra de 1/2" - Planta de Asfalto - Batangrande

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	3000.00
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	3274.80
C.- Peso de recipiente	(gr.)	280.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.17

Observaciones :


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT






UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Darwin Paú Ahumada Arévalo
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : 11 de Abril del 2024

Ensayo : SUELOS. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena
Cantera : Tres Tomas

I.- DATOS

MUESTRA Nº	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	Nº 4	Nº 4	Nº 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	6.70	6.80	6.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.50	4.30	4.40
EQUIVALENTE DE ARENA	67.16 %	63.24 %	67.69 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	67 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Minimo : 60 % Minimo			

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión :

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Arena Amarilla - Cantera Tres Tomas

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1018.22
2.- Pesc Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	706.26
3.- Peso del Agua	(g)	311.96
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	704.76
5.- Peso del Frasco	(g)	206.26
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498.50
7.- Volumen del frasco	(g)	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.651
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.659
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.672
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.30

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Piedra de 1/2" - Planta de Asfalto - Batangrande

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3000.00
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3018.00
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2750.00
4.- Peso de la canastilla	(g)	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1870

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.613
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.629
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.655
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.60

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



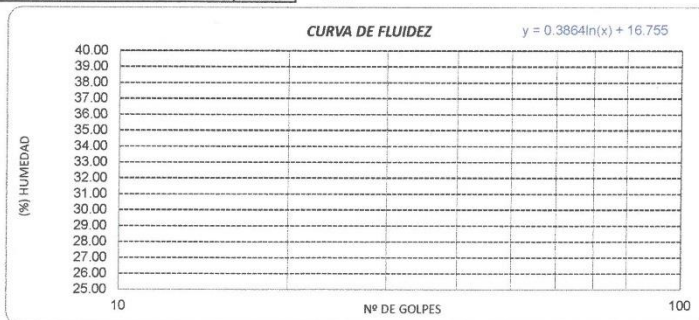
TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : 9 de Abril del 2024

Ensayo : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

Referencia : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo	Límite líquido				Límite Plástico		
	L-1	L-2	L-3	1	L-4	32	
Nº de tarro							
Nº de golpes	35	25	15	15			
Tarro + suelo húmedo	18.15	18.18	18.10	18.10	15.14	15.14	
Tarro + suelo seco	16.50	16.53	16.48	16.48	13.95	13.95	
Agua	1.65	1.65	1.62	1.62	1.19	1.19	
Peso del tarro	7.37	7.41	7.37	7.37	7.34	7.34	
Peso del suelo seco	9.13	9.12	9.11	9.11	6.61	6.61	
Porcentaje de humedad	18.07	18.09	17.78	17.78	18.00	18.00	NP

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA			
Límite Líquido	18.00	12.53	N.P.
Límite Plástico	18.00	N.P.	18.00
Índice de Plasticidad	N.P.	N.P.	



Observaciones:

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
TESIS : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada

Lugar : Chiclayo - Lambayeque

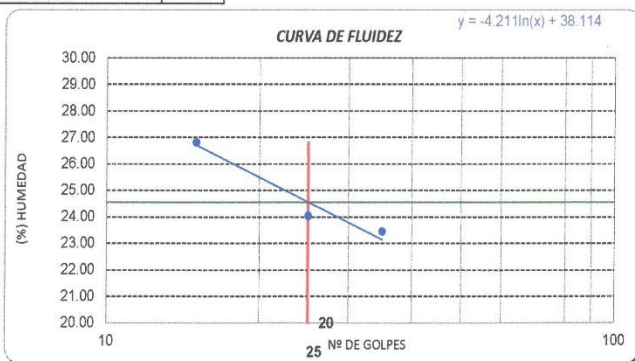
Fecha de emisión : 09 de abril de 2024

Ensayo : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo

Referen : N.T.P. 399.131

Datos de ensayo	Límite líquido				Límite Plástico	
	L-1	L-2	L-3	1	L-4	32
Nº de tarro						
Nº de golpes	35	25	15	15		
Tarro + suelo húmedo	16.91	18.35	16.84	16.84	15.11	15.11
Tarro + suelo seco	15.05	16.22	14.77	14.77	13.7	13.7
Agua	1.86	2.13	2.07	2.07	1.41	1.41
Peso del tarro	7.12	7.36	7.05	7.05	7.35	7.35
Peso del suelo seco	7.93	8.86	7.72	7.72	6.35	6.35
Porcentaje de humedad	23.46	24.04	26.81	26.81	22.20	22.20
						NP

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	24.56
Límite Plástico	22.20
Índice de Plasticidad	2.35



Observaciones:

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. Chiclayo 2024. modificado
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 30 de Abril del 2024

Ensayo : Peso específico relativo de sólidos (G_s)-Material que pasa la malla Nº 4
Referencia : NTP 339.131 ASTM D - 854

	Filler
1. Nº de fiola	F-2
2. Peso de la fiola	g. 201.38
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g. 500.0
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de l (2+3)	g. 701.4
5. Peso de la muestra + fiola + agua	g. 1019.2
6. Peso de la fiola + peso de agua	g. 980.3
7. Peso específico relativo de sólidos (G_s) $(3)/((3+6)-5) \text{ g/cm}^3$	1.084

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


Henry Rivas Arévalo
Obtuso
Téc. Laboratorio
USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



Tesista : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : 13 de abril 2024

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Arena

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	40.00
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.004

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)


Henry Rivas Obilias
Tec. Laboratorio
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



Tesista : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : 13 de Abril 2024

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

REFERENCIA : NTP 339.152 / USBR E - 8

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Piedra

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	57
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.01

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de ensayo : 11 de Abril del 2024

ENSAYO : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	12.7
% de uniformidad	%	0.2

Requerimiento : 40 % Máximo

OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil
TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : 29 de Abril del 2024

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Arena gruesa

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	2.0
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	2.2
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	2.2
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	2.3
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	2.1
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	2.1
300 µm	150 µm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	15.3
-----------------------	-----	------

OBSERVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESISTA
ESCUELA
TESIS

: Darwin Paúl Ahumada Arévalo
: Escuela de Ingeniería Civil
: Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico
mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

Lugar : Chiclayo - Lambayeque

Fecha de ensayo : 10 de abril del 2024



AZUL DE METILENO

(NORMA: AASHTO TP 57)

REFERENCIA DE LA MUESTRA

Cantera : Planta Asfalto - Batangrande

MUESTRA M-01

APLICACIÓN : ASFALTO

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino(N° 200)	Resultado	Especificación EG -213	
		NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO pasa 200	Cada 0.5 ml	7.0	5.0	1.4	-	8

RESULTADOS PROMEDIOS : 1.4

FÓRMULA DE APLICACION

$$AM = C_{sol} / P_{finos}$$

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
ESCUELA : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
Lugar : Chiclayo - Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo 30 de Abril del 2024

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Piedra Chancada

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	0.0
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	7.3
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	3.3
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	1.9
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	
9.5 mm	4.75 mm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	12.5
-----------------------	-----	------

OBSEVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)

Henry Rivadeneira Obitos
Res. Laboratorio
USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Darwin Paúl Alumada Arévalo
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de : 12 de Abril del 2024
Ensayo : Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras
Referencia : Norma MTC E 221
Cantera : Tres Tomas
Muestra : Grava Chancada 1/2"

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

A.- CON UNA CARA FRACTURADA.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON UNA CARA FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A)*100)$	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$
PASA	RETIENE						
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g.	1200.0	1060.0	88.3 %	24.0 %	21.2 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	300.0	287.0	95.7 %	6.0 %	5.7 %
TOTAL		1500.0 g.	1500.0 g.	1347.0 g.		30.0 %	26.9 %

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 89.8%

B.- CON DOS CARAS FRACTURADAS.

TAMIZ		PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA $C = ((B/A)*100)$	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS $E = C * D$
PASA	RETIENE						
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g.	1200.0	892.3	74.4 %	24.0%	17.85%
1/2"	3/8"	300.0 g.	300.0	268.1	89.4 %	6.0%	5.36200%
TOTAL		1500.0 g.	1500.0 g.	1160.4 g.		30.0%	23.2 %

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 77.4%


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Darwin Paúl Ahumada Arévalo
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente modificada
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : 09 de abril de 2024

Ensayo : Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras
Referencia : Norma MTC E 221

Cantera : Tres Tomas
Muestra : Grava Chancada 1/2"

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

PESO MUEST. SECA : 2500.0 g

TAMIZ		PESO MÍN. PARA SUBDIVISIÓN	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RET. ACUMULADO	% QUE PASA
Pulg.	Mm.					
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---
2"	50.000	50 kg.	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	35 kg.	---	---	---	---
1"	25.000	15 kg.	---	---	---	---
3/4"	19.000	5 kg.	---	---	---	100.0
1/2"	12.500	2 kg.	1015.5	40.6	40.6	59.4
3/8"	9.500	1 kg.	934.3	37.4	78.0	22.0
1/4"	6.300	0.5 kg.	417.0	16.7	94.7	5.3
Nº 04	4.750	---	102.8	4.1	98.8	1.2
FONDO		---	28.8	1.2	100.0	0.0

TAMIZ		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Pulg.	Mm.	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	50.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	25.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	19.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	12.500	1015.5	40.6	59.4	56.66	5.6%	2.4%	46.86	4.6%	2.0%
3/8"	9.500	934.3	37.4	22.0	34.07	3.6%	1.4%	45.78	4.9%	1.9%
1/4"	6.300	417.0	16.7	5.3	7.08	1.7%	0.3%	22.31	5.4%	0.9%
Menor 1/4"	---	---	5.3	1.2	---	---	---	---	---	---
TOTAL		2366.8 g.	100.0 %	0.0	97.8 g.	10.9%	4.1%	115.0 g.	14.9%	4.8%

Nota: Las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayaran.

PESO TOTAL DE LA MUESTRA =	2366.8 g.
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS =	8.9 %

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

TESIS : Influencia del cemento Portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Tres Tomas
 TESISISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo

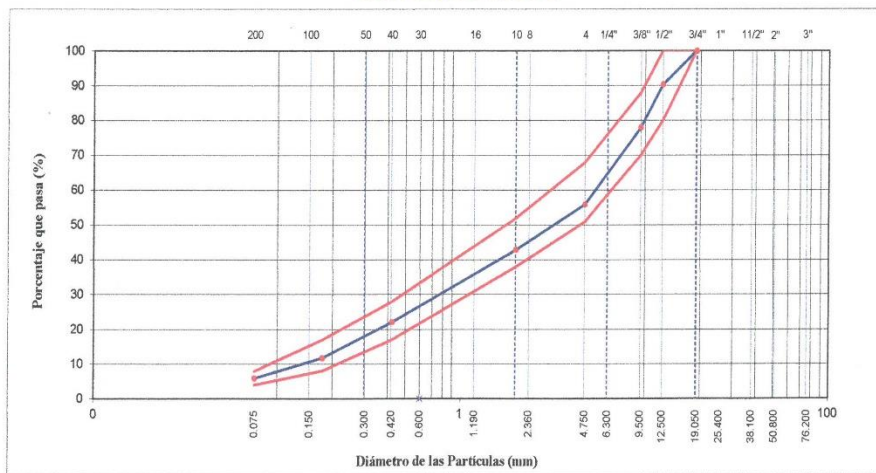
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASEAL DCL (BSI 0070)	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
 Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE		RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA		ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)		RETENIDO	RETENIDO		QUE PASA	QUE PASA		
3"	76.200							MAC - 2	
3/4"	19.000					100.0		100	
1/2"	12.500	582.47	9.7	9.7	90.3	80	100		
3/8"	9.500	737.6	12.3	22.0	78.0	70	88		
Nº 4	4.750	1325.9	22.1	44.1	55.9	51	68		
Nº 10	2.000	782.0	13.0	57.1	42.9	38	52	Observación:	
Nº 40	0.425	1251.5	20.9	78.0	22.0	17	28		
Nº 80	0.177	616.2	10.3	88.3	11.7	8	17		
Nº 200	0.075	351.6	5.9	94.1	5.9	4	8		
< Nº 200	FONDO	352.8	5.9	100.0					

CURVA GRANULOMÉTRICA



Henry Rivadeneyra Obllitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIAS
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO

**ANEXO N° 3: Diseño del MAC según el método
Marshall**



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Tres Tomas
 TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425
Peso de C.A	60 4.00%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.34
B Arena	54.90	52.70
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.34	42.34	42.34	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.70	52.70	52.70	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9 Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10 Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	6.8	6.9	6.9	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1182.3	1175.3	1189.30	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1190.33	1181.21	1193.4	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	660	640	660	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	530	541	533	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.229	2.172	2.230	2.210
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209 MTC E 508)	gr/cc.	2.621	2.621	2.621	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/7+8) + (4^2/9+10))$	gr/cc.	2.403	2.403	2.403	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3303, MTC E 505)	%	14.96	17.16	14.94	15.69
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.602	2.602	2.602	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4^2/P - 10))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.57	0.57	0.57	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	84.64	82.44	84.65	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	0.41	0.40	0.41	
27 % vacíos del agregado mineral $100 - 25$	%	15.36	17.56	15.35	16.09
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	3.46	3.46	3.46	
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	2.64	2.25	2.64	2.51
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1664	1828	1906	
31 Factor de estabilidad		0.96	0.93	0.96	
32 Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1664	1828	1906	1799
33 Lectura del Resímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	24	26	39	30
34 Fluencia	m.m.	6.10	6.60	9.91	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2730	2768	1924	2474

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Tres Tomas

TESISTA : Darwin Patú Ahumada Arévalo

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	42.11
B Arena	54.90	52.43
C Filler	1	0.96

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	IVB
Especificaciones	IVB

1	Número de briketa	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	42.11	42.11	42.11	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.43	52.43	52.43	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 63% pasa malla #200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.4	6.2	6.2	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1150.20	1176.40	1187.50	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1153	1180.63	1190.7	
15	Peso de la briketa en el agua	gr.	640	650	660	
16	Volumen de la briketa	c.c.	513	530.63	531	
17	Peso unitario de la briketa	gr/cc.	2.242	2.217	2.238	2.232
18	Peso específico teórico máximo (Rico) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.663	2.663	2.663	
19	Máxima densidad teórica de los agregados	gr/cc.	2.423	2.423	2.423	
20	% de vacíos con aire	%	15.82	16.76	15.99	16.19
21	Peso específico Bulk del Agregado Total	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	
22	Peso específico Aparente del agregado total	gr/cc.	2.662	2.662	2.662	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa	%	83.22	82.29	83.05	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa	%	0.96	0.95	0.96	
27	% vacíos del agregado mineral	%	16.78	17.71	16.95	17.15
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla	%	4.24	4.24	4.24	
29	Relación betún vacíos	%	5.74	5.38	5.67	5.59
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2848	2430	2724	
31	Factor de estabilidad	kg	1.00	0.96	0.96	
32	Estabilidad corregida	kg	2848	2333	2615	2599
33	Lectura del flexímetro	mm.	29	30	31	30
34	Fluencia	mm.	7.37	7.62	7.87	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	mm.	3866	3061	3321	3416

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Tres Tomas
 TESISISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60+70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

Mezcla
Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

1	Número de briqueeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.89	41.89	41.89	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.16	52.16	52.16	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueeta	cm	6.9	6.8	6.2	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr	1238.1	1144.6	1137.20	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr	1242.27	1150.87	1142.3	
15	Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr	680.0	640	640.0	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	562.3	510.87	502.3	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.202	2.240	2.264	2.236
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.678	2.678	2.678	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2)(7+8) + (4/2)(9+10))$	gr/cc.	2.406	2.406	2.406	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	17.78	16.34	15.46	16.52
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)-(5/11))$	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)-(5/11))$	gr/cc.	2.582	2.582	2.582	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3+4)*17/21$	%	81.30	82.73	83.60	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta $100-(25+20)$	%	0.92	0.93	0.94	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.70	17.27	16.40	17.46
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	4.74	4.74	4.74	
29	Relación betón vacíos $(26/27)*100$	%	4.91	5.41	5.76	5.36
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3852	2743	2703	
31	Factor de estabilidad		0.86	1.00	1.04	
32	Estabilidad corregida $31*32$	kg	3313	2743	2811	2956
33	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	26	29	29	28
34	Fluencia	m.m.	6.60	7.37	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5016	3724	3816	4185

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santa Teresita de Mogrovejo





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
 MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
 CANTERA : Tres Tomas
 TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	

Peso de Muestra	1410
Peso de C.A	75 5.0%
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.89
B Arena	54.90	52.16
C Filler	1	0.95

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.89	41.89	41.89	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.16	52.16	52.16	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa maila #200)	%	0.00	0.00	0.00	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.9	6.8	6.2	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1238.1	1144.6	1137.20	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1242.27	1150.87	1142.3	
15	Peso de la briquea en el agua 25 °C	gr.	680.0	640	640.0	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	562.3	510.87	502.3	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.202	2.240	2.264	2.236
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.678	2.678	2.678	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/7) + (4^2/9) + 10)$	gr/cc.	2.406	2.406	2.406	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	17.78	16.34	15.46	16.52
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.582	2.582	2.582	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3 * P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3 + 4) * 17/21$	%	81.30	82.73	83.60	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 + 20)$	%	0.92	0.93	0.94	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	18.70	17.27	16.40	17.46
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	4.74	4.74	4.74	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	4.91	5.41	5.76	5.36
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3852	2743	2703	
31	Factor de estabilidad		0.86	1.00	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3313	2743	2811	2956
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	26	29	29	28
34	Fluencia	m.m.	6.60	7.37	7.37	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5016	3724	3816	4185

Henry
 Rivadeneira
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santa Toribio de Mogrovejo





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ASFÁLTICO
MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Tres Tomas
TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo

Grava Chancada 1/2"	45%
Arena	55%
Cemento (Filler)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60 70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	44.10	41.45
B Arena	54.90	51.61
C Filler	1	0.94

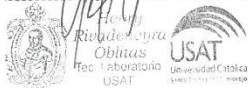
% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	90.3	78.0	55.9	42.9	22.0	11.7	5.9	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	41.45	41.45	41.45	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.61	51.61	51.61	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 63% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.8	6.9	6.5	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1128.3	1269.7	1151.70	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1131.26	1274.49	1155	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	610	690	620	
16	Volumen de la briqueta	c.c.	521.26	584.49	535	
17	Peso unitario de la briqueta	gr/cc.	2.165	2.172	2.154	2.164
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.656	2.656	2.656	
19	Máxima densidad teórica de los agregados	gr/cc.	2.337	2.337	2.337	
20	% de vacíos con aire	%	18.51	18.22	18.90	18.54
21	Peso específico Bulk del Agregado Total	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
22	Peso específico Aparente del agregado total	gr/cc.	2.563	2.563	2.563	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gr/cc.	2.546	2.546	2.546	
24	Asfalto absorbido por el agregado total	%	0.27	0.27	0.27	
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta	%	80.46	80.75	80.09	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta	%	1.02	1.03	1.02	
27	% vacíos del agregado mineral	%	19.54	19.25	19.91	19.57
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla	%	5.75	5.75	5.75	
29	Relación betún vacíos	%	5.24	5.34	5.12	5.23
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3542	4403	3348	
31	Factor de estabilidad		1.00	0.83	0.96	
32	Estabilidad corregida	kg	3542	3654	3214	3470
33	Lectura del micrómetro	pul.	31	31	28	30
34	Fluencia	m.m.	7.87	7.87	7.11	
35	Relación Fluencia / Fluencia	m.m.	4498	4641	4519	4553



TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024

MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena

CANTERA : Tres Tonas

TESISTA : Darwin Paúl Ahumada Arévalo

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2770	2770	2770	2770	2770
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2198	2207	2210	2174	2205
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3697.8	3706.8	3709.9	3673.5	3705.3
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2)-(3)	572	563	560	597	565
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.621	2.663	2.678	2.515	2.656


Henry
Rivadenevra
Obitas
Tec. Laboratorio
USAT



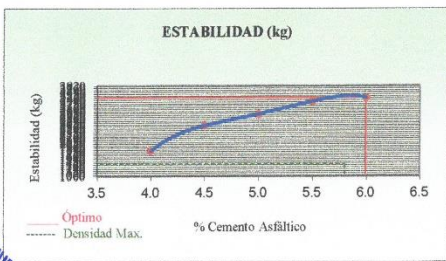
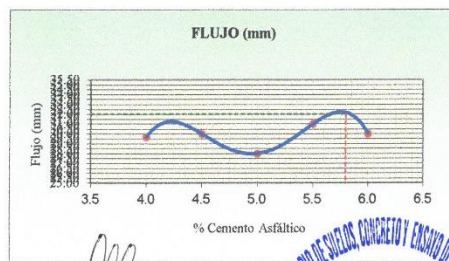
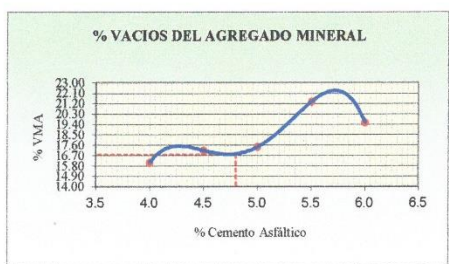
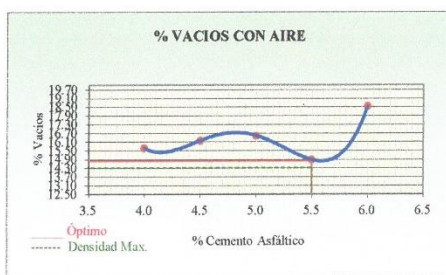
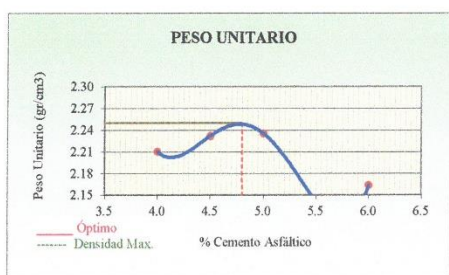


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO
 MÉTODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chilayo 2024
MATERIAL : Grava Chancada 1/2" - Arena
CANTERA : Tres Tomas
TESISTA : Darwin Paul Ahumada Arévalo



[Firma]
 Rivadeneira
 Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santa Toribio de Mogrovejo

USAT
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



TÉCNICO DE LABORATORIO

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.4
Peso Unitario (gr/cm ²)	2.250
Vacios (%)	14.30
Vacios del Agregado mineral (%)	16.80
Vacios Llenados de C.A (%)	12.00
Flujo (mm)	8.13
Estabilidad (Kg)	1380
Relación Polvo Asfalto	0.92

Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

ANEXO N° 4: Ensayo de Lottman Modificado



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

MUESTRA PATRON LIGERO

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS				MUESTRAS SECAS			
- Número de briqueta	a	1	2	3	Prom.	4	5	6	Prom.
D Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.2	10.2	10.2	
t Espesor	cm	6.48	6.57	7.1		7.27	7.55	6.66	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1223.6	1192.4	1290.6	1222.2	1258.4	1296.3	1290.1	1281.6
B SSD de la Muestra	gr	1298.32	1265.99	1283.50		1336.07	1390.55	1320.50	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	746.39	719.92	724.21		728.93	745.71	775.60	
E Volumen (B-C)	cc	551.9	546.1	559.3		607.1	644.8	544.9	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.217	2.194	2.236	2.2	2.073	2.010	2.367	2.2
G Peso específico teórico máximo (B/A)	gr/cc	2.270	2.270	2.270	2.3	2.270	2.270	2.270	2.3
H % de vacíos ((G-F)/G)*100	%	2.24	3.81	1.50	2.5	8.89	11.44	4.29	5.3
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	12.91	20.79	8.38		52.79	73.79	-23.39	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C					
B' SSD de la Muestra	gr	1239.0	1210.0	1265.0	NO SE EJECUTA
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	615.74	621.55	645.00	
E' Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	623.3	588.5	620.0	
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	15.4	17.6	14.4	
- Saturación ((J'/E')*100)/E'	%	119.3	84.6	171.9	
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	12.32	7.76	10.85	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María									
t' Espesor	cm	6.1	6.9	6.7	NO SE EJECUTA				
B'' SSD de la Muestra	gr	1231.78	1205.32	1255.60					
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	614.03	630.17	655.00					
E'' Volumen (B'' - C'')	cc	619.8	575.2	600.6					
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	10.2	12.9	5.0					
- Saturación ((J''/E'')*100)/E''	%	78.9	62.1	59.7					
- Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	10.88	4.94	6.66					
- Carga Máxima Kg	kg	275	245	195	415.0	375	320		
- Carga Máxima N	N	2697.750	2403.450	1912.050	2338.050	2338.050	3678.750	3139.200	3052.0
- Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.82	2.22	1.82	2.29	2.29	3.22	2.65	2.72

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) = 84.275%

NOTA:
 El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.

Henry Rivadeneira Obliatas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE OBRAS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

MUESTRA PATRON LIGERO

DATOS	n	MUESTRAS SUMERGIDAS			Prom.	MUESTRAS SECAS				Prom.
		1	2	3		6	7	8		
D. Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2		10.2	10.2	10.2		
E. Espesor	cm	7.12	6.39	7.3		7.07	6.95	6.66		
A. Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1316.5	1054.4	1260.6	1207.2	1298.9	1300.9	1290.1		1283.3
B. SSD de la Muestra	gr	1399.79	1119.64	1281.50		1336.96	1386.72	1320.60		
C. Peso de la Muestra en Agua	gr	795.10	618.00	724.21		758.75	788.68	775.60		
E. Volumen (B - C)	cc	610.7	501.6	559.3		598.2	592.0	544.9		
F. Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.156	2.102	2.236	2.2	2.104	2.197	2.367		2.2
G. Peso específico teórico máximo (B/C)	gr/cc	2.311	2.311	2.311		2.3	2.311	2.311		2.3
H. % de vacíos (G - F)/G*100	%	6.72	9.05	3.24	6.3	8.94	4.92	-2.45		3.8
I. Volumen de vacíos (H*E)/100	cc	41.01	45.38	18.13		53.46	29.11	-13.33		

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C					
B ¹ SSD de la Muestra	gr	1335.0	1084.0	1275.0	NO SE ENCUENTA
C ¹ Peso de la Muestra en Agua	gr	655.74	526.55	649.00	
E ¹ Volumen de la Muestra (B ¹ - C ¹)	cc	679.3	557.5	626.0	
J ¹ Volumen de Agua de Absorción (B ¹ - A)	cc	18.5	29.6	24.4	
- Saturación (100*J ¹ /I)	%	45.1	65.2	53.8	
- Hinchamiento (E ¹ - E)/100/E	%	11.23	11.13	11.93	

Condiciones de Saturación Por-24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María									
I ¹ Espesor	cm	6.1	6.9	6.7	NO SE ENCUENTA				
B ¹ SSD de la Muestra	gr	1324.00	1067.00	1255.00					
C ¹ Peso de la Muestra en Agua	gr	654.03	540.17	665.00					
E ¹ Volumen (B ¹ - C ¹)	cc	670.0	526.8	590.0					
J ¹ Volumen de Agua de Absorción (B ¹ - A)	cc	7.5	12.6	4.4					
- Saturación (100*J ¹ /I)	%	18.3	27.8	24.3					
- Hinchamiento (E ¹ - E)/100/E	%	8.73	4.52	4.91					
- Carga Máxima Kg	kg	315	269	269	375	325	320		
- Fuerza Tensil KPA	kg/cm ²	3090.150	2638.890	2638.890	2789.319	3678.750	3188.250	3139.200	3198.9
		2.24	2.44	2.52	2.73	3.31	2.92	2.87	3.09

RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TR) = 90.016%

NOTA:
 El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.

[Firma]
 Ripadeneira
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE ENSAYOS GEOTECNICOS Y CAMINOS DE INGENIEROS
 USAT
 UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 5: Ensayo de RICE



UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

MEZCLA MODIFICADA AL 5% CON CONCHAS DE ABANICO TRITURADO	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.9%
1.- PESO DEL FRASCO	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2657
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1556
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4056.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	1101
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.2700


 Henry
 Rivas Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIAS
 USAT

 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

MEZCLA PATRON	
PORCENTAJE DE ASFALTO	4.9%
1.- PESO DEL FRASCO	736
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2716
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1634
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	4134.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2500
6.- AGUA DESPLAZADA (2)-(3)	1082
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.3110

[Handwritten Signature]
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica



ANEXO N° 6: Ensayo de Cántabro



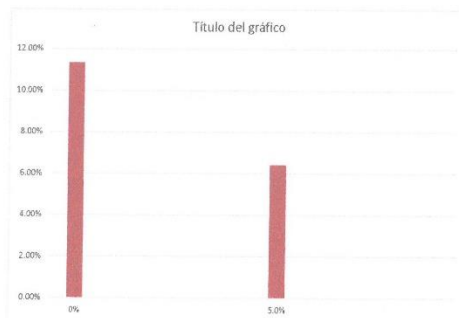
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS
 MTC E 515

TEMA	: Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
FECHA DE ENSAYO	: 10 de octubre
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA	: Darvín Paul Ahumada Arévalo

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	974.70	665.3	31.74%	11.34%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1021.60	980.2	4.05%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1070.00	1015.6	5.08%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1135.80	1085	4.47%	
1	CONVENCIONAL	5.0%	300	24°C	1090.00	1009.4	7.39%	6.42%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	960.70	940.5	2.10%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1079.10	980.6	9.13%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1085.40	1009	7.04%	



NOTA:
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C
 El ensayo (MTC E 516), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%



Henry Rivadeneira Obilias
 Tec. Laboratorio USAT
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



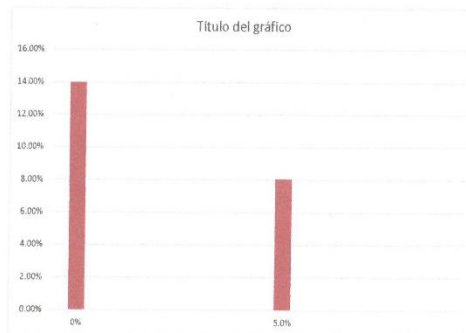
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS
 MTC E 515

TESIS	: Influencia del cemento portland como Filler en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, Chiclayo 2024
FECHA DE ENSAYO	: 10 de octubre
CANTERA	: Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA	: Darvín Paúl Ahumada Arévalo

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1123.20	951.2	15.31%	13.99%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1134.90	1045.9	7.84%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	906.80	780.5	13.93%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1025.50	832	18.87%	
1	CONVENCIONAL	5.0%	300	24°C	1004.20	914.4	8.94%	8.06%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1139.50	1013	11.10%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1063.90	1010.7	5.00%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1199.40	1112.9	7.21%	



NOTA:
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%

Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO