



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**Análisis Comparativo del Método Espumado y
Convencional en el Diseño de Mezclas Asfálticas en Climas
Fríos de la Región Lambayeque**

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

Autor

Bach. Pinedo Chicchon Marck Anthony
<https://orcid.org/0000-0003-4652-5761>

Asesor

Dr. Marín Bardales Noe Humberto
<https://orcid.org/0000-0003-3423-1731>

Línea de Investigación

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2023

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN
EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN
LAMBAYEQUE**

Aprobación del jurado

Mtro. SALINAS VÁSQUEZ NÉSTOR RAÚL
Presidente del Jurado de Tesis

Mtro. ORDINOLA LUNA EFRAÍN
Secretario del Jurado de Tesis

Dr. MARIN BARDALES NOE HUMBERTO
Vocal del Jurado de Tesis


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Pinedo Chicchón, Marck Anthony suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy egresado (s) del Programa de Estudios de **INGENIERIA CIVIL** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Pinedo Chicchón, Marck Anthony	DNI: 77155353	
--------------------------------	---------------	---

Pimentel, 20 de mayo del 2023.

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado a todas las personas que me ayudaron a terminar mi carrera, en especial a mi tío Meme que durante mucho tiempo me ayudo a seguir adelante con mis metas y ahora desde el cielo está viendo que logre lo que el tanto quería y que no me di por vencido este logro es por ti tío Meme, también quiero dedicar este logro a mi madre que siempre me dijo que estudiara, que terminara la carrera y que ella será la que me apoye hasta el último.

Y como no mencionar a mi padre que siempre vio la manera de siempre apoyarme para seguir estudiando y no abandonar mis sueños.

Este logro se los dedico a ustedes.

MARCK ANTHONY PINEDO CHICCHON

Agradecimiento

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes siendo este uno de ellos, ustedes me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

A mi hermana Keli que siempre me dio aliento para seguir estudiando y no abandonar mi objetivo.

A mi hermano Kleimer siendo el menor, pero con una mentalidad bien madura supo entender que el esfuerzo siempre da sus frutos y acá la evidencia de que todo esfuerzo al final tiene su recompensa.

Gracias Shesha, Irma, Kelia y Kemel.

MARCK ANTHONY PINEDO CHICCHON

Índice

Dedicatoria	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de tablas	vii
Índice de Figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	24
1.3. Hipótesis	25
1.4. Objetivos	25
1.5. Teorías relacionadas al tema	25
II. MATERIALES Y MÉTODO	30
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	30
2.2. Variables, Operacionalización	31
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección	33
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	35
2.5. Procedimiento para la recolección de datos.....	36
2.6. Criterios éticos.....	38
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1. Resultados	39
3.2. Discusión.....	66
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
4.1. Conclusiones.....	71
4.2. Recomendaciones	72
V. REFERENCIAS	73
VI. ANEXOS.....	81

Índice de tablas

Tabla I Operacionalización de las variables.....	32
Tabla II Total de muestras de investigación.....	34
Tabla III Requerimiento del agregado fino según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.	40
Tabla IV Requerimiento del agregado grueso según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio	41
Tabla V Requerimiento según el ensayo de sales solubles totales del agregado fino y grueso	43
Tabla VI Requerimiento según el ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino y grueso.....	44
Tabla VII Control de calidad para el requerimiento del Agregado Fino	46
Tabla VIII Control de calidad para el requerimiento del Agregado Grueso.....	48
Tabla IX Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima Muestra patrón	50
Tabla X Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra patrón	51
Tabla XI Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima al 5,8%	52
Tabla XII Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra óptima al 5,8%	54
Tabla XIII Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según Ensayo de gravedad específica teórica máxima con espumante	55
Tabla XIV Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra con espumado	56
Tabla XV Cantidad de briquetas empleadas para el análisis de la de asfalto total y contenido óptimo de agua	57
Tabla XVI Características óptimas según contenido de agua al 2.25%	57
Tabla XVII Características Marshall según propiedades físicas/mecánicas de las MA por el método convencional y espumado.....	59
Tabla XVIII Análisis granulométrico comparativo del agregado fino, agregado grueso y global.	61
Tabla XIX Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 75 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón.....	62
Tabla XX Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 50 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón.....	63
Tabla XXI Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 35 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón.....	65

Índice de Figuras

Fig. 1. Asfalto en caliente el cual será materia de estudio en el presente proyecto de investigación	26
Fig. 2. Diagrama de procesos	37
Fig. 3. Análisis granulométrico del agregado grueso	39
Fig. 4. Análisis granulométrico del agregado fino	39
Fig. 5. Análisis granulométrico del agregado global, combinado agregado fino 58% + agregado grueso 40%	40
Fig. 6. Requerimiento del agregado fino según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.	41
Fig. 7. Requerimiento del agregado grueso según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio	42
Fig. 8. Requerimiento según el ensayo de sales solubles totales del agregado fino y grueso	44
Fig. 9. Requerimiento según el ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino y grueso	45
Fig. 10. Control de calidad para el requerimiento del Agregado Fino	47
Fig. 11. Control de calidad para los requerimientos del Agregado Grueso	49
Fig. 12. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima Muestra patrón	51
Fig. 13. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra patrón	52
Fig. 14. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima al 5,8%	53
Fig. 15. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra óptima al 5,8%	54
Fig. 16. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según Ensayo de gravedad específica teórica máxima con espumante	55
Fig. 17. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra con espumado	56
Fig. 18. Características óptimas según contenido de agua al 2.25%	58
Fig. 19. Características Marshall	60
Fig. 20. Análisis granulométrico comparativo del agregado fino, agregado grueso y global	62
Fig. 21. Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 75 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón	63
Fig. 22. Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 50 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón	64
Fig. 23. Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 35 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón	65

Resumen

Los desafíos por el deterioro del pavimento asfáltico de construcción temprana y la necesidad de limitar el consumo de recursos naturales para producir materiales de pavimentación han estimulado estudios recientes de métodos que facilitan la construcción sostenible de pavimentos asfálticos. El objetivo es analizar el método espumado en comparación con el método convencional, en el diseño de mezclas de asfalto en climas fríos de la región Lambayeque. La metodología es experimental y se basa en realizar procedimientos y ensayos correspondientes de los agregados tanto finos como gruesos, trabajo de gabinete, los diseños de asfalto en caliente convencional y del asfalto espumado. Los resultados evidenciaron que, los materiales empleados cumplen los requisitos solicitados en la norma para producción de asfaltos, debido a sus buenos resultados; frente a la resistencia al desgaste (abrasión:11.96%). Además de la resistencia a los agentes químicos (sulfatos), cantidad de fino y presencia de material orgánico; sin embargo, se debe tener en cuenta que el diseño de mezclas debe ser dosificado de tal manera que las proporciones de los materiales no excedan de lo permitido; ya que si la mezcla presenta exceso de material que pasa la malla N° 200 presentara segregaciones, si presenta mucha grava, se vuelve seca y difícil de compactar, por el contrario, si tiene demasiada arena, presentaría problemas en la estabilidad. Concluyendo que, es necesario tener en cuenta el tipo de método a emplear para elaborar mezclas asfálticas, ya que de esta manera se alcanzarían los resultados deseados.

Palabras Clave: Pavimentos asfálticos, método espumado, método convencional, climas fríos.

Abstract

The challenges due to the deterioration of early asphalt pavement construction and the need to limit the consumption of natural resources to produce paving materials have stimulated recent studies of methods that facilitate the sustainable construction of asphalt pavements. The objective is to analyze the foamed method in comparison with the conventional method, in the design of asphalt mixtures in cold climates in the Lambayeque region. The methodology is experimental and is based on carrying out procedures and corresponding tests of both fine and coarse aggregates, cabinet work, conventional hot asphalt designs and foamed asphalt. The results showed that the materials used meet the requirements requested in the standard for asphalt production, due to their good results in terms of wear resistance (abrasion: 11.96%). In addition to the resistance to chemical agents (sulfates), amount of fine and presence of organic material; however, it should be taken into account that the design of mixtures should be dosed in such a way that the proportions of the materials do not exceed what is allowed; because if the mixture presents excess of material that passes the mesh N° 200 it will present segregations, if it presents a lot of gravel, it becomes dry and difficult to compact, on the contrary, if it has too much sand, it would present problems in the stability. In conclusion, it is necessary to take into account the type of method to be used to prepare asphalt mixtures, since in this way the desired results will be achieved.

Keywords: Asphalt pavements, foamed method, conventional method, cold climates.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

Los desafíos planteados por el desgaste del pavimento asfáltico de construcción temprana y la necesidad de limitar el consumo de recursos naturales para producir materiales de pavimentación han estimulado estudios recientes de métodos que facilitan la construcción sostenible [1].

En India la mayoría de las carreteras nacionales y estatales se construyen con mezcla asfáltica en caliente (HMA) como capa superficial. La producción de HMA, una mezcla de agregados minerales clasificados, ligante asfáltico y huecos de aire, requieren energía en forma de calor (a temperaturas > 150 °C) [2]. Con la infraestructura creciendo a un ritmo exponencial, este requerimiento de energía tiene enormes implicaciones para el avance de todo un país.

Se ha informado que la producción de mezclas asfálticas (MA) alcanzó los 1.500 millones de toneladas en el 2007 y ha ido aumentando gradualmente. Esta enorme producción consume aproximadamente 136×10^6 MWh de energía por año [3]. Predominantemente, la energía requerida para la producción de la mezcla asfáltica se consume durante el calentamiento del ligante asfáltico, el secado de los agregados minerales y la mezcla de los materiales ya mencionados [4]. En particular, se requieren de 70 a 100 kWh por tonelada de energía para el proceso de secado y calentamiento, mientras que solo se necesitan de 5 a 8 kWh para el transporte y almacenamiento de las MA [3].

En el mismo contexto, Qin & Sun, observaron que casi el 70-80% del consumo de energía y las emisiones se presentan durante la producción de las MA, mientras que la cantidad es inferior al 20% para la etapa de transporte. Más del 94% de los 2,7 millones de millas de caminos pavimentados en los Estados Unidos están elaborados a base asfalto; no obstante, en cuanto a la tecnología de construcción, la HMA es una tecnología principal [5].

Durante la producción de HMA, se consumía una gran cantidad de combustible y se liberaban gases tóxicos y polvo masivos. Estos gases tóxicos contaminarían todo el medio ambiente y pondrían en grave peligro la salud humana [6]. Asimismo, Acosta et al.

argumentan que para la fabricación de HMA se consumen grandes cantidades de agregados naturales. Estos recursos provienen de la explotación de canteras, ocasionando de esta manera efectos negativos ambientales, así como importantes costes económicos, además de energéticos [7].

Ahora bien, en muchos países desarrollados, el período de rápida expansión de nuevas redes viales ha alcanzado su punto máximo, la infraestructura vial existente está obsoleta y un número significativo de carreteras se encuentra en el punto final de su vida útil. Los daños al pavimento son el resultado de muchos impactos negativos que se han originado en las carreteras a causa de distintos factores y acorde a los grados de intensidad [8].

Entre los tipos de tecnología que existen para mejoramiento de las carreteras, tenemos métodos en frío y el convencional. Por su lado, la tecnología en frío para la reconstrucción de estructuras de pavimento es un enfoque racional y ambientalmente avanzado en el sistema de explotación vial moderno. Esta metodología se basa en utilizar las capas dañadas de las estructuras de los pavimentos existentes, con una cantidad de ligante menor que en las mezclas asfálticas convencionales [9]. De otro modo, en la tecnología de mezcla asfáltica semi-caliente (HWMA), la disminución de temperatura es aún más pronunciada. El aglutinante es el betún espumado con agua que reduce la viscosidad del aglutinante y la temperatura del proceso es más baja; oscilando sus valores entre 40 y 60 °C en comparación con la HMA tradicional [10]

Una mezcla de HWMA con asfalto espumado y una mezcla tradicional deberían tener propiedades comparables. Hasta hace poco tiempo, el betún espumado se usaba solo en el reciclaje en frío profundo y en este sentido se establecieron requisitos de calidad para los parámetros de espumación: máxima expansión (ER), y vida media (HL) de la espuma bituminosa [10].

Aunado a lo expuesto, las mezclas recicladas en zonas frías diseñadas incorrectamente pueden volverse demasiado rígidas, lo que conduce a la formación de grietas por contracción en la capa base. A su vez, una cantidad insuficiente de cemento puede reducir la resistencia a la tracción indirecta, por lo tanto, acortar la vida útil de la pavimentación. Por

tal, parece fundamental encontrar una solución para mejorar vida útil de los pavimentos sin aumentar el módulo de rigidez de la mezcla reciclada en zonas frías con betún espumado y cemento [11].

De otro modo, en el Perú, hoy en día, los organismos públicos y los productores de asfalto responsables de la realización de las carreteras están experimentando una disponibilidad limitada de fondos junto con aumentos significativos en el precio de las operaciones de construcción y ligante asfáltico [12]. Esas preocupaciones se suman a una presión significativa para construir, mantener y rehabilitar de manera sostenible; por ende, las agencias deben buscar métodos alternativos de construcción y mantenimiento, así como materiales alternativos. En base a lo expuesto, es que se están desarrollando nuevas técnicas para hacer que los procesos de producción sean más eficientes con un menor consumo de energía; y que, a su vez, estos aspectos puedan generar ventajas tanto ambientales como económicas [13].

Varios investigadores han estudiado los efectos sobre el medio ambiente debido a la construcción, mantenimiento, disposición de pavimentos y la aplicación de nuevas técnicas descritas anteriormente. Estos estudios aplican el Análisis del Ciclo de Vida (LCA), es una metodología popular en diferentes campos de investigación, ya que investiga los aspectos ambientales de un producto, un servicio, un proceso o una actividad mediante la identificación y cuantificación de los flujos de entrada y salida utilizados por el sistema, y su salida funcional entregada en una perspectiva de ciclo de vida [14]. Asimismo, se debe tener en cuenta que la gran mayoría de las carreteras que se construyen son a base de HMA; sin embargo, existe un consenso en que las temperaturas para la producción de estas mezclas, incluida la fabricación, el transporte y la colocación, deben estar aproximadamente por encima de los 140 °C [15]

Posteriormente, el Gobierno de Lambayeque dio la bienvenida a la determinación del Gobierno Nacional de crear una carretera que conecte Pitipo e Incahuasi. Las prioridades de construcción de carreteras antes mencionadas se publicaron en el diario El Peruano; para lo cual se tuvieron que elaborar e implementar documentos técnicos. La finalidad de crear estas

carreteras surge porque los pobladores de la zona han estado viajando durante años a través de trochas [16].

En Incahuasi, que cuentan con aproximadamente 15.000 habitantes, han solicitado a las autoridades que intervengan en la carretera que los conecta con Ferreñafe, porque en temporadas dificultan sus traslados, originando que terminen aislados de las zonas donde obtienen sus recursos de primera necesidad. Asimismo, la trocha que conecta Incahuasi y Ferreñafe tiene 110 km de largo y su restauración tendría costo estándar de 11 millones de soles, pero lo que su avance se vería algo complejo [17]

Entre tanto, existen investigaciones que se han efectuado para analizar el método espumado y convencional en el diseño de HMA. Desde esta perspectiva, Liu et al. en su investigación tuvieron como objetivo el estudio del daño potencial por humedad que se puede producir dentro del asfalto espumado de mezcla tibia con el ensayo de contenido de humedad. La metodología fue experimental, por lo que estos métodos fueron evaluados y comparados. Los resultados indican que algo de humedad residual permanece atrapado en el asfalto después de la formación de espuma y que los estados de formación de espuma para el asfalto de mezcla base y el asfalto SBS modificado logran estabilidad después de 6 min y 15 min, respectivamente. Concluyendo que el agua espumosa agrava la falla de adhesión y causa daño por humedad debido a la participación de agua externa [18].

Rosli & You dentro de su investigación establecieron como objetivo evaluar y comparar la consistencia de los ligantes espumados con etanol y las mezclas preparadas con ligantes asfálticos espumados. La metodología fue experimental, y los ligantes asfálticos espumados con ambos métodos se elaboraron a temperaturas de 120 °C, 130 °C y 140 °C; además, las mezclas WMA espumada se produjeron utilizando agregados precalentados a 80 °C y 100 °C y ligantes asfálticos espumados producidos a 130 °C. Seguidamente, se efectuaron ensayos para determinar el rendimiento de los aglutinantes espumados con etanol y el rendimiento de las mezclas WMA espumadas. Los resultados mostraron que, las propiedades de los aglutinantes espumados con etanol y las mezclas de WMA producidas mediante ambos métodos son significativamente comparables, excepto el resultado de la

prueba de resistencia al daño por humedad; al mismo tiempo, los hallazgos indican que las mezclas de WMA espumadas con etanol preparadas con ambas técnicas tienen una buena resistencia al daño por humedad, según los valores de TSR superiores a 0,8. Las mezclas de WMA espumado también exhibieron una mejor resistencia al agrietamiento, como lo indica una mayor resistencia a la tracción en comparación con el control HMA. Además, la muestra de WMA preparada a 100 °C fue menos susceptible a la formación de surcos que las muestras producidas a 80 °C. Concluyendo que, los comportamientos de los aglomerantes de asfalto espumado preparados mediante ambos métodos en términos de viscosidad, fisuración a baja temperatura y relación de expansión son significativamente comparables [19].

Gao et al. en el proyecto tuvieron como objetivo investigar las propiedades de la carretera de mezcla de asfalto espumosa en caliente como tibia realizando todos los ensayos para carpetas asfálticas. La metodología fue experimental, y por ello, formó mezcla asfáltica de mezcla tibia espumosa, mezcla asfáltica de mezcla tibia Sasobi-LM, pieza de prueba de mezcla asfáltica de mezcla caliente ordinaria y un análisis comparativo de diferentes mezclas asfálticas. Los resultados indican que la resistencia al agrietamiento a baja temperatura, la estabilidad al agua y resistencia al cizallamiento de la mezcla de asfalto en caliente espumada superan a la mezcla asfáltica tibia, pero ligeramente inferior a la mezcla asfáltica ordinaria. Concluyendo que la resistencia a la formación de surcos a alta temperatura y la resistencia a la fatiga es menor que la de la HMA [20].

Zhou et al. dentro de su proyecto indicaron como objetivo el de investigar el efecto de la mezcla asfáltica en caliente (HMA) sobre la base de la mezcla reciclada en frío con espuma asfáltica (CRMF). La metodología fue de tipo experimental, y para ello, en este estudio se emplearon dos tipos de moldeo interior (compactación Marshall grande secundaria y compactación vibratoria secundaria) y dos temperaturas de curado (40 °C y 60 °C). La resistencia a la tracción indirecta (ITS) y los vacíos de aire se utilizan para evaluar las propiedades de las mezclas antes y después de pavimentar la HMA para determinar qué método de moldeo interior es más consistente con la construcción real. Los resultados

evidenciaron que el proceso de compactación en caliente secundario es beneficioso para aumentar la ITS y la resistencia a la humedad. Asimismo, la profundidad de influencia de la compactación en caliente secundaria es limitada, que es de unos 5 cm. Por su lado, la compactación Marshall grande tradicional de una sola vez solo puede simular condiciones antes de la pavimentación de HMA. Concluyendo, que las condiciones de compactación y curado (compactación-130 golpes por cara + 48 h curado a 60 °C + compactación-20 golpes por cara + 24 h curado a temperatura ambiente) son las recomendadas para realizar las pavimentaciones [21].

Xia et al. en esta investigación tuvieron como objetivo analizar las características ambientales de la mezcla asfáltica espumante y se determina la relación de referencia mediante la prueba de Marshall. La metodología fue experimental, y se propone un método para determinar el contenido óptimo de agente espumante mineral basado en la evaluación del módulo del asfalto y determinar el grado de influencia de cada factor de espumación mecánica basado en el método de correlación de grises. Los resultados evidencian que el contenido óptimo de agente espumante mineral ZQ era del 7%. Por otro lado, el consumo de agua para la espumación mecánica del asfalto modificado con SBS se fijó en $3,0\pm 0,2\%$, la temperatura del asfalto se fijó en $165\pm 2^{\circ}\text{C}$ y la temperatura del agua en $30\pm 2^{\circ}\text{C}$. Concluyendo que, la mezcla asfáltica espumada puede reducirse aproximadamente 25°C en comparación con la MA mezclada en caliente, y el rendimiento de la mezcla puede cumplir los requisitos de la especificación actual [22].

Hu et al. en su proyecto de investigación tuvieron como objetivo investigar el rendimiento de la mezcla asfáltica espumada en caliente tradicional y la incorporación de caucho triturado (FWMA). La metodología es de tipo experimental; y para ello se fabrica la mezcla asfáltica con y sin la incorporación del caucho. Asimismo, se adicionó un 20 % en peso de caucho triturado con un tamaño de 0,56 mm (n.º 30) en el aglutinante de asfalto, que se mezcló a una temperatura de 260°C durante 6 horas. Los resultados muestran que, la temperatura de fabricación de la mezcla FWMA se reduce notablemente en 17°C en comparación con la mezcla asfáltica en caliente. También se ha explorado el desempeño del

aglutinante FWMA-CR es consistente con el de la mezcla. Al mismo tiempo, el aglutinante de asfalto espumado y la mezcla muestran un mejor rendimiento a baja temperatura y resistencia a la fatiga, mientras que presentan un alto rendimiento inferior en comparación con el aglomerante y la mezcla de asfalto cauchutados convencionales. Concluyendo, que la aplicación de mezclas asfálticas espumadas en caliente puede ser aplicados en la construcción de pavimentaciones puesto que mejora la trabajabilidad de la mezcla asfáltica, promueve su compactación en climas fríos y prolonga su vida útil [23].

Kavussi & Mohsen dentro de su investigación tuvieron como objetivo abordar el papel de los materiales reciclados (RAP) en las propiedades mecánicas y de fractura de las mezclas de asfálticas con el método espumado. La metodología fue de tipo experimental, y para ello, se realizaron pruebas de fractura en la geometría de SCB y pruebas de adherencia junto con pruebas mecánicas para abordar la falla por agrietamiento, las características de unión interna y la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas. Los resultados de pruebas de extracción mostraron que el aumento de los materiales RAP resultó en una menor adhesión entre la espuma bituminosa y las partículas de agregado. Esto indica el impacto adverso de los contenidos excesivos de RAP (es decir, al 70%) en las mezclas sobre la flexibilidad de las mezclas de espuma y HMA; por el contrario, la aplicación de cantidades más bajas de RAP (es decir, 30 y 50 %) resultó en una mayor resistencia de las mezclas de espuma y HMA. Concluyendo que, la tecnología de espuma y los porcentajes de materiales RAP afectan significativamente la estabilidad de los pavimentos [24].

Wang et al. dentro de su investigación tuvieron como objetivo evaluar si las tecnologías HMA compuestas (procedimiento de formación de espuma y el aditivo tensioactivo (SA)) benefician ambientalmente y en el ámbito de la ingeniería. La metodología fue de tipo experimental, y para ello, se usó un agente espumante en lugar de agua durante el proceso de espumado. Se realizaron pruebas químicas, de formación de espuma y reológicas. Los resultados encontraron una reacción química limitada entre los betunes SA y estireno-butano. Además, el tensioactivo utilizado como nuevo agente espumante puede tener efectos positivos en el comportamiento de la formación de espuma. Igual modo, el betún

SA presenta mejor trabajabilidad, ahuellamiento y resistencia a la fatiga. Concluyendo que, las HMA usando un aditivo surfactante y un procedimiento de espumado es factible sobre betún estireno-butano [25].

Pani et al. para su investigación tuvieron como objetivo determinar el efecto de diferentes tecnologías asfálticas en tibio en la resistencia a la humedad de las mezclas asfálticas. La metodología fue de tipo experimental, y para ello, utilizaron una variedad de investigaciones experimentales que incluyen la relación de fuerza de unión (BSR), el porcentaje de recubrimiento, la estabilidad Marshall retenida (RMS) y la relación de resistencia a la tracción (TSR). Asimismo, se emplearon dos fuentes de agregados (granito y dolomita), dos aglutinantes de asfalto base (VG30 y PMB40) y cinco aditivos de mezclas asfálticas clasificados en tecnologías orgánicas, químicas y de espuma. Los resultados encontraron que el daño por humedad en las mezclas asfálticas es una función del tipo de agregado y del aglomerante asfáltico base. Rediset, un aditivo químico mostró una mayor resistencia a la humedad en comparación con otras tecnologías. Concluyendo que, las tecnologías basadas en espuma muestran poca resistencia contra el daño por humedad, mientras que la inclusión de aditivos químicos y orgánicos mejora la resistencia a la humedad de la mezcla asfáltica [26].

Li et al. en dicha investigación establecieron como objetivo examinar y evaluar la característica de variación del rendimiento de la mezcla asfáltica en caliente espumada (FWMA) en comparación con la mezcla asfáltica en caliente (HMA) convencional en condiciones de servicio a largo plazo. La metodología fue de tipo experimental, y para ello, se comparó la evolución del rendimiento de las muestras de testigos FWMA perforadas en cuatro carreteras con la de las HMA ordinarias, que se construyeron simultáneamente. Asimismo, se realizaron pruebas para evaluar el grado de envejecimiento, las características reológicas a alta y baja temperatura. Los resultados demostraron que la resistencia al envejecimiento de la FWMA disminuyó ligeramente en condiciones de construcción sin reducción de la temperatura. Asimismo, el grado de envejecimiento de FWMA bajo servicio a corto y largo plazo fue menor que la HMA cuando la temperatura de construcción disminuyó.

Las características reológicas de FWMA fueron inferiores a las de HMA durante las etapas de servicio a corto y largo plazo. Concluyendo que, la cantidad de agua utilizada para la formación de espuma y la temperatura de producción deben controlarse estrictamente en la tecnología de mezcla asfáltica espumada [27].

Offenbacher et al. para su proyecto tuvieron como objetivo evaluar y cuantificar los costos de construcción, los costos de energía y los beneficios ambientales del uso de las mezclas asfálticas en frío (CIR) como técnica de rehabilitación de pavimentos y compararlo con el método de mezclas asfálticas en caliente (HMA). La metodología fue de tipo experimental, y para este estudio, los costos de usar CIR preparadas usando asfalto emulsión (CIR-E) o espumado asfalto (CIR-F). A su vez, se compararon con la mezcla convencional en caliente de 5,1 cm (2 pulg) asfalto (HMA) fresado y superposiciones. Los resultados del estudio mostraron que los costos iniciales de construcción del uso de CIR son menores que las mezclas convencionales (HMA). También se encontró que los costos de energía y ambientales eran mucho más bajos para las mezclas CIR en comparación con las HMA y un ahorro de energía de hasta un 63 %. Concluyendo que, el uso de CIR tiene costos más bajos en comparación con las superposiciones tradicionales de HMA, sin embargo, existen investigaciones donde se han encontrado mejores resultados al aplicar mezclas asfálticas en caliente [28].

García et al. en la investigación se estableció como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de una base estabilizada con asfalto espumado. La metodología es de tipo experimental, y para ello, inicialmente, se analizó la influencia de dos variables de diseño como son el tipo de filler activo (cal y cemento portland) y el contenido de asfalto espumado (2.2 a 2.4%). Asimismo, los parámetros utilizados en la evaluación fueron la resistencia a la tensión indirecta, el ángulo de fricción interna, cohesión (ensayo triaxial) y el módulo resiliente. Los resultados muestran con respecto a los parámetros mecánicos que las mezclas estabilizadas con asfalto espumado presentan un aumento de su resistencia en comparación con una base granular tradicional, siendo la pérdida de cohesión el modo de falla de este tipo de estabilización; y finalmente, para obtener una espumación de alta calidad, las condiciones

óptimas fueron a 170°C de temperatura con 2.7% de agua añadida. Concluyendo que, el método de espumado mejora las propiedades mecánicas de los pavimentos [29].

Myung et al. en su proyecto de investigación tuvieron como objetivo analizar el impacto de los rejuvenecedores en mezclas de asfalto espumado que contienen 100 % de pavimento asfáltico recuperado (RAP) y evaluar la viabilidad de utilizar la mezcla como capa estructural en un sistema de pavimento. La metodología es de tipo experimental, y para ello, se realizaron tres pruebas de estabilidad Marshall (MS), resistencia a la tracción indirecta (ITS) y la flexión semicircular (SCB). Los resultados indicaron que la MS y la ITS de las mezclas sin rejuvenecedor son lo suficientemente altas para su uso como capa estructural del subsuelo; no obstante, dosificar la mezcla con 6% de rejuvenecedor reduce significativamente la MS y la ITS. Las pruebas SCB de resistencia a la fractura a una temperatura intermedia indican que las mezclas sin rejuvenecedores son más frágiles que la mezcla asfáltica en caliente convencional (HMA). Finalmente, el índice de flexibilidad indica que las mezclas con el 6% de rejuvenecedor tienen una mayor resistencia al agrietamiento que las mezclas de asfalto espumado en caliente. Concluyendo que, la adición de rejuvenecedores afecta significativamente la integridad estructural de las mezclas asfálticas espumadas al aumentar la resistencia al agrietamiento, pero disminuyendo considerablemente la estabilidad y la resistencia indirecta. Por lo tanto, para fines prácticos, no se recomienda el uso de un rejuvenecedor en mezclas asfálticas espumadas [30].

Skotnicki et al. en su proyecto de estudio tuvieron como objetivo evaluar el efecto de utilizar asfalto espumado para producir la capa base de las construcciones de pavimento de carreteras en las condiciones de Polonia. La metodología es de tipo experimental, y para ello, el asfalto espumado se combinó con pavimento asfáltico recuperado (RAP) y ligante hidráulico (cemento). A base de estos ingredientes se elaboraron mezclas asfálticas espumadas con cemento (FAC). Asimismo, para reducir la rigidez y el agrietamiento en la capa base, se utilizó asfalto espumado (FA) en las mezclas analizadas que contenían cemento. Como resultado se obtuvo que, la resistencia a la compresión de las muestras de la mezcla FAC aumenta a medida que aumenta el período de curado y toma valores de 1,5 a

2,5 MPa durante 7 a 28 días. Al mismo tiempo, la estabilidad Marshall en FAC tiene una relación similar con la resistencia a la compresión. Este valor aumenta con la duración de la "vida" de la muestra en el rango de 10,0 a 12,5 kN. Luego, a medida que aumenta la temperatura, disminuye la rigidez de las mezclas de FAC. Para una temperatura de +10 °C, el módulo de rigidez complejo de la mezcla FAC es de unos 2883 MPa. Concluyendo que, que el método de FAC proporcionará pavimentos de carretera duraderos y seguros [31].

Xiao et al. para tal investigación establecieron como objetivo estudiar los efectos de varias temperaturas de compactación sobre la susceptibilidad a la humedad y la resistencia de mezclas de asfalto (WMA) que contienen agregados húmedos utilizando el método de espumado. La metodología es de tipo experimental y se midieron para todas las mezclas y se midió la resistencia a la tracción indirecta (ITS). Los resultados de la prueba indicaron que la fuente de agregados afectó significativamente el ITS y la temperatura de compactación y contenido de humedad de los agregados. Además, los valores ITS de las mezclas espumadas que contenían agregado húmedo aumentaron a medida que aumentaba la temperatura de compactación. Una temperatura de compactación por debajo de 102°C (215°F) generalmente no tuvo efectos de envejecimiento notables (2 h) en las mezclas asfálticas [32].

Bitolog et al. en el proyecto de investigación tuvieron como objetivo investigar el efecto de la temperatura tanto en la prueba de resistencia indirecta a la tracción (ITS) como en la prueba de estabilidad Marshall de la mezcla de asfalto espumado usando asfalto Shell # 70A. La metodología fue de tipo experimental, y para ello, compara las propiedades mecánicas de las mezclas de espuma asfáltica, incluida la prueba de estabilidad del agua, la prueba de resistencia a la tracción indirecta (ITS) y la prueba de división por congelación y descongelación. Los resultados indicaron que la mezcla de espuma y asfalto depende de la temperatura y también es un material sensible a la temperatura. Concluyendo que las propiedades espumantes del asfalto tienen un efecto importante sobre las propiedades de la espuma de mezcla asfalto para la resistencia y la estabilidad al agua de la espuma [33].

Luego, en el territorio peruano, Ccoyllo en su investigación tuvieron como objetivo determinar cómo influye el método de asfalto espumado (WMAE) en el diseño de WMA para

pavimentos flexibles. La metodología fue de tipo experimental – aplicada. Asimismo, el tipo de diseño se basó en WMA, conformado por el tipo de diseño de HMA (convencional). Los resultados evidenciaron de que el método de WMAE mejora de manera notable los factores de diseño de WMA para los pavimentos, al evidenciar que, las WMA modificadas optimizan los valores de estabilidad, flujo y vacíos; siendo estos valores de 24.6%, 8.93% y 11.79% respectivamente, superando de esta manera a las WMA convencionales. Del mismo modo se evidenció una optimización de costos de 6.42%. Concluyendo, que la calidad el WMAE influye de manera positiva en los factores de diseño de las WMA [34].

Cáceres, en su investigación tuvo como objetivo analizar la influencia el WMAE en las propiedades de la WMA. La metodología fue de tipo experimental, y para ello, se hizo el diseño de dos WMA una caliente y otra espumada. Los resultados mostraron que el uso de WMAE se realiza con un óptimo de asfalto 5.7%, lo cual fue hallada por unos ensayos previos para la HMA obteniendo así una mejora en su comportamiento ante la mezcla; a su vez otorgando una estabilidad para la mezcla asfáltica de 12.00 KN y para la WMAE de 11.30KN y cumpliendo así los parámetros establecidos según norma “MTC EG -2013”. Concluyendo que, hubo un mejoramiento en la WMA al incorporar el asfalto espumado dando así una pequeña variación en sus propiedades y brindando una mejora; sin dejar de lado lo que establece la norma [35].

Narro & Morales en dicho proyecto de investigación tuvieron como objetivo realizar un estudio de los beneficios técnicos y económicos que puede generar el proceso de pavimentación utilizando el método de asfalto espumado (AE). La metodología es de tipo experimental, y para ello, se efectúa un estudio comparativo del comportamiento estructural de un pavimento convencional frente a uno con AE. Asimismo, para el diseño de WMAE se utilizó dos tipos de cemento asfáltico: PEN 85/100 y PEN 120/150; con una temperatura entre 160 °C-180 °C, y 160 °C y 190 °C respectivamente. Los resultados muestran que, las FWMA con mejor desempeño fue el cemento asfáltico PEN 120/150, que tiene mayor grado de penetración; además, para asegurar la calidad de la espumación, las condiciones óptimas fueron a 160°C de temperatura y 3.0% de agua añadida. Con respecto al proceso de

espumación nos proporcionó una vida media de 15.3s, y una relación de expansión de 19.0; y finalmente, con un contenido óptimo de asfalto de 2.0% los valores de resistencia a la tracción indirecta de las muestras muestran una variación porcentual máxima de 11.5% para la condición seca y de 6.3% para la condición húmeda. Concluyendo que, en el proceso de espumación, el tipo de asfalto influye directamente en las propiedades del AE [36].

Gonzales en este proyecto de investigación tuvo como objetivo comparar las HMA, con el AE. La metodología es de tipo experimental, y para ello, en el laboratorio se efectuaron ensayos que corresponden a la carpeta asfáltica, adicional del diseño respectivo. Esto por cada tipo de asfalto diseñado se realizará su estudio correspondiente (HMA, AE al 1% y al 3%) con el fin de demostrar las ventajas del uso de AE frente a la HMA. Los resultados evidenciaron que, con respecto al ensayo Marshall, el AE presentó un aumento en la estabilidad; de 1081.15kg frente a 1018.80kg del asfalto en HMA. Asimismo, obtuvo un el flujo de 3.59mm, frente a 2.80mm. Igual modo, la mezcla de AE tiene mayor trabajabilidad, y finalmente, el presupuesto de producción de HMA es de S/. 785,540.16; mientras que la producción de AE es de S/. 663,126.96. Concluyendo que, el AE es más económico, porque en la producción misma del asfalto existe un ahorro importante de consumo de energía porque la WMA a 132°C, mientras que el HMA se calienta a 150°C; asimismo, la tecnología del AE resulta ser beneficioso en la industria de la ingeniería debido a sus propiedades mecánicas, trabajabilidad, y sobre todo amigable al medio ambiente; por lo que sería recomendable que se invierta en adquirir estas herramientas; y en el aspecto económico es un ahorro importante para el proyecto [37].

Abad en su investigación estableció como objetivo realizar un análisis comparativo en la elaboración de HMA vs espumado. La metodología es de tipo experimental, y a su vez, se llevó a cabo una revisión de los reportes bibliográficos del proyecto de conservación vial Conococha – Huaraz. Los resultados evidenciaron que, en donde los porcentajes obtenidos en el diseño de mezclas, de los agentes estabilizados como asfalto, agua, cemento optimizan las propiedades de los agregados en el AE. Asimismo, la técnica del espumado presentó mejores condiciones técnicas, económicas, ambientales, energética (de diseño), y

operacionales en cuanto su disposición de insumos, equipos, y mano de obra aplicados a la vía de estudio. Concluyendo que, la técnica del AE se ha impuesto a los sistemas tradicionales de rehabilitación de pavimentos asfálticos, debido a los importantes beneficios anteriormente mencionados [38].

Para finalizar, en Lambayeque, no hay investigaciones respecto al presente tema en estudio; no obstante, la finalidad del proyecto permitirá crear una nueva epistemología, donde posteriormente permitirá a que futuros investigadores puedan tener este proyecto como base.

Por otro lado, la presente investigación presentara **justificaciones** desde diferentes puntos de vista. Tal es el caso que, desde el punto de vista **teórico**, se procede en constatar la mejora de los resultados de realizar el análisis comparativo del empleo del método espumado y convencional en el diseño de mezclas de asfalto en climas fríos de la región Lambayeque.

Posteriormente se examinará y detallará todo el marco conceptual desde un punto de vista **metodológico**, en acatamiento de los estándares de calidad para la elaboración y publicación del resultado de diseño óptimo del análisis comparativo del empleo del método espumado y convencional en el diseño de MA en climas fríos de la región. También, se justifica **económicamente**, dado que, esta investigación ayudará en cumplimiento de los estándares de calidad de uso razonable de los recursos del Estado Peruano a través de proyectos de inversión pública para infraestructura vial urbano. De otro modo, se justifica **socialmente**, ya que, el llevar a cabo esta investigación contribuirá a mejorar el diseño de WMA convencionales para pavimentos a través de la aplicación del método de asfalto espumado o convencionales. Esta mejora se verá manifestada en los factores estructurales, los cuales contribuirán en producir una buena calidad de pavimento. Y finalmente, desde el punto de vista **ambiental**, se beneficiará en cumplimiento de los estándares de mitigación y conservación del medio ambiente en su proceso constructivo.

1.2. Formulación del problema

¿Será factible emplear el método espumado en comparación con el método

convencional, en el diseño de mezclas de asfalto en climas fríos de la región Lambayeque?

1.3. Hipótesis

Sí es practicable emplear el método espumado en comparación con el método convencional, en el diseño de mezclas de asfalto en climas fríos de la región Lambayeque.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Analizar el método espumado en comparación con el método convencional, en el diseño de mezclas de asfalto en climas fríos de la región Lambayeque.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio de canteras de los agregados a utilizar, caracterizando sus propiedades físicas.
- Elaborar diseños de HMA por el método convencional.
- Elaborar diseños de HMA por el método espumado.
- Comparar las propiedades físicas/mecánicas de las HMA por el método convencional y espumado en estado fresco y endurecido, mediante reglamentación MTC.
- Analizar los resultados de las mezclas de asfalto comparadas en cuanto a su funcionabilidad, estructura y economía de producción.

1.5. Teorías relacionadas al tema

Asfalto

Los pavimentos atraen el calor, lo que lleva las temperaturas durante el día, factores como urbanización, uso del suelo, contaminación del aire, cambio climático, superficies impermeables, además la radiación aumenta las temperaturas ambientales y los residuos el calor pasa a las superficies, lo que tiene un impacto indirecto en el medio ambiente [39].

Según, Zhang et al. el pavimento asfáltico con ligante asfáltico envejecido tiene una capacidad insuficiente para resistir la deformación permanente , el agrietamiento por fatiga y el daño por humedad, lo que da como resultado una gran cantidad de mezclas asfálticas de desecho , a saber, pavimento asfáltico reciclado [40].

El origen del asfalto fue como bitumen, el bitumen es el resultado de varios elementos, en la mayoría naturales, además se le atribuyen propiedades para el desarrollo de productos usados en el rubro de la construcción de carreteras o vías peatonales [41].

El bitumen se le añade arena y es usado para pavimentar vías terrestres, también se usa para impermeabilizar techos, conductos, muros, entre otros. Asimismo, el Asfalto es de grano fino coloidal, es un compuesto químico de varias cadenas moleculares, conformada por carbono, oxígeno, hidrógeno, azufre, nitrógeno, complementando con complejos de níquel, vanadio, hierro, calcio y magnesio [42]



Fig. 1. Asfalto en caliente el cual será materia de estudio en el presente proyecto de investigación

Nota. La Fig. 1 muestra el asfalto en caliente el cual forma parte del proyecto en estudio.

Adaptado de Al-Merzah et al. [42]

Características del asfalto

La mezcla de asfalto se usó ampliamente en pavimentos de alto grado debido a la característica de bajo nivel de ruido, superficie lisa, conducción cómoda y sin costuras y

período de construcción corto. Sin embargo, como la MA entra en contacto directo con las cargas atmosféricas y de tráfico, el pavimento asfáltico a menudo sufre grietas, surcos, desprendimiento de agregados y otras enfermedades [43]. Los materiales asfálticos con excelente desempeño juegan un papel positivo en la mejora del desempeño del pavimento asfáltico. El rendimiento de los materiales asfálticos convencionales es difícil de cumplir con los requisitos del pavimento, por lo que los materiales poliméricos se utilizan para mejorar el rendimiento del asfalto [44].

Se conoce, que la MA es un componente típicamente susceptible a temperaturas, puesto que ello provocaría un cambio brusco en sus propiedades mecánicas y por ende rendimiento operativo [45]. Por otro lado; según, Tang et al. mencionan que la MA es un material dependiente del tiempo, la temperatura y la tensión, y exhibe respuestas elástico-viscoplásticas cuando se somete a carga. Como el tiempo de carga disminuye con el aumento de la velocidad del tráfico, es necesario considerar la velocidad del tráfico en el modelo [46]. De otro modo, Banting & Zhang afirman que el rolado y compactado repetido de las cargas permite que los asfaltos y agregados alcancen condiciones de envoltura y estabilidad cada vez mejores [47].

Además, Janampa afirma que los cambios ocurren gradualmente en el desempeño del asfalto durante el uso de la mezcla asfáltica, los cuales están representados por una menor penetración, menor ductilidad y mayor punto de ablandamiento en los índices [48].

Usos

Sze & Zhang argumentan que, la mezcla asfáltica se forma en millones o incluso 10 millones de años en la tierra. Cuando el agregado se usa en MA, las modificaciones que se generan en las características fisicoquímicas del agregado son de poca importancia [49]. No obstante, el presente material tiene entre sus usos principales:

- **Pavimentación:** Este líquido aglutinante es usado para pavimentar día, es uno de los componentes principales del pavimento flexible [49].
- **Revestimientos:** Por su durabilidad es usado en revestimientos de techos y otras superficies expuestas a la abrasión, por ejemplo, en canales enterrados, presas,

bocatomas Además de ser un material económico. [49].

- **Impermeabilización:** El asfalto por ser un material bituminoso es impermeable esta propiedad es muy útil dentro de las carreteras o bien para impermeabilizar estructuras como: diques, canales y bocatomas [49].
- **Estructuras hidráulicas:** Además el asfalto es un material flexible, por esta propiedad se usa como relleno en las juntas en la construcción de canales además por ser impermeable impide la pérdida de agua y protege la estructura de la erosión [49].

Diseño de mezcla asfáltica en frío

Aunque los métodos tradicionales utilizados para fabricar mezclas para pavimentos de caminos y carreteras parecen ser eficientes y duraderos, por ejemplo, la HMA, consumen grandes cantidades de materias primas vírgenes, requiere mayor energía, emiten gases nocivos para el medio ambiente y presentan problemas de seguridad logística [50]. Varias instituciones, agencias y gobiernos de todo el mundo actualmente esperan que se desarrollen nuevas metodologías que minimicen tales problemas [51, 52].

En términos generales, las agencias de asfalto clasifican las MA en función de las temperaturas de preparación y aplicación: HMA y mezcla asfáltica en frío (CMA). CMA emite menos contaminación durante la producción y la aplicación y no presenta problemas para la salud, así como para la seguridad, esto debido a la ausencia de humos y altas temperaturas durante ambos procesos [53, 54].

El asfalto de mezcla en frío no requiere calentamiento durante la mezcla, la colocación o la compactación, pero los ingenieros de carreteras suelen restringir el uso de CMA convencional con relleno de piedra caliza tradicional, a baja carreteras transitadas, aparcamientos y pasarelas [42]. Esto se debe a una resistencia mecánica temprana débil, un alto contenido de vacíos de aire y una durabilidad inferior en balance con las mezclas asfálticas en caliente (HMA) tradicionales [55].

El uso de CMA en la construcción de capas de caminos y carreteras también está restringido debido a la cantidad de tiempo que se requiere para curar y lograr una resistencia aceptable [56]. Investigaciones anteriores en el Reino Unido encontraron que el CMA puede

requerir entre 2 y 24 meses de tiempo de curado para alcanzar la resistencia final, según el clima, además del hecho de que el CMA típico con el relleno de piedra caliza es susceptible al daño por agua de lluvia en las primeras etapas de vida [57, 58].

Tipos de Asfalto

El asfalto se puede encontrar, acorde a los siguientes tipos:

- **El asfalto puro:** Es utilizado para pavimentaciones asfálticas duras, por ejemplo, carreteras y calles. A su vez, es empleado como impermeabilizante y para pavimentar. Se hace referencia este material como un subproducto sólido [59].
- **Asfaltos asociados con materia mineral:** Esta siempre a elevadas temperaturas, puesto que tiene que mantener su estabilidad; por ello, debe ser manipulados en zonas de alta temperatura [59].
- **Asfálticas duras:** Posee baja densidad, color, reducido azufre, carbono. Asimismo, si se mezcla con ceras se pueden generar compuestos estables y se pueden elaborar otros productos como pinturas, barnices, resinas y artículos termoplásticos [59].

Tipos de pavimentos

Las pavimentaciones están conformadas por una base granular y Portland; a su vez, este último se le puede adicionar aditivos con la finalidad de acrecentar su durabilidad; por ejemplo, en situaciones donde las pavimentaciones estén sujetas a sales o aguas negras, ya que se ha demostrado que ha brindado buenos resultados [60]

Los autores Zhao et al. afirman que la subrasante contribuye significativamente a soportar las estructuras superiores en los pavimentos de carreteras y aeródromos, y la confiabilidad de ese soporte es vital para mantener un desempeño excelente bajo cargas de tránsito repetidas [61].

Un desafío importante para esta confiabilidad es que los suelos de la subrasante también son sensitivos a la variación del contenido de humedad. Cuando el suelo está saturado, se inducirá una presión de agua intersticial positiva bajo la carga del tráfico, lo que

reducirá la tensión efectiva a medida que se reduzca la proporción de la carga transportada por las partículas del suelo. Incluso cuando el suelo no está saturado, el aumento del contenido de humedad reduce la succión matricial, lo que también reduce la tensión efectiva y, por lo tanto, se degradarán las propiedades mecánicas [62, 63]

Método espumado y convencional

La infraestructura de pavimento sostenible y resistente es fundamental para los desafíos económicos y ambientales actuales. Durante los últimos 10 años, la infraestructura de pavimento afirma fuertemente el rápido crecimiento de la economía social. Están surgiendo nuevas teorías, nuevos métodos, nuevas tecnologías y nuevos materiales relacionados con la ingeniería de pavimentos [64].

Ahora bien, el método espumado, consiste en diseñar y elaborar mezclas de asfalto bajo los lineamientos de procesos constructivos especializados para su óptimo rendimiento y ahorro energético (producción) que inclusive su conformación está orientado al proceso de reciclado de materiales que contienen elevado índice de plasticidad [65].

II. MATERIALES Y MÉTODO

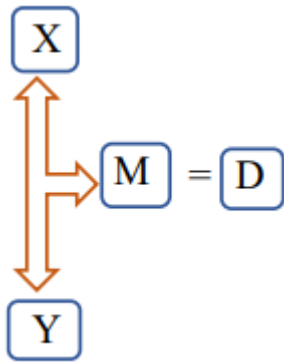
2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación es APLICADA. Según Hernandez [66], argumenta que el actual proyecto se desarrollara a través de un proceso adecuado teniendo en cuenta la rama vial o de caminos.

Diseño de investigación

El diseño de la investigación se considerará EXPERIMENTAL. Asimismo, para la elaboración de las WMA se experimentó con 3 porcentajes de emulsión y se analizó las combinaciones realizadas aplicando los 2 métodos inicialmente expuestos [66]



Donde:

X: Diseño de mezclas asfálticas

Y: Análisis comparativo del método espumado y convencional.

M: Muestra

D: Diseño

2.2. Variables, Operacionalización

- Variable Independiente (VI): MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL
- Variable Dependiente (VD): DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS

Tabla I

Operacionalización de las variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Método espumado y convencional	El surgimiento de nuevas teorías, métodos, tecnologías y materiales concernientes con la ingeniería de pavimentos [64].	Se emplearán ambos métodos para mejorar el comportamiento del suelo	Producción	Rendimiento Rentabilidad	Tiempo	Observación (fichas de observación) Encuesta (Cuestionario)	Tiempo	Variable Independiente	Intervalo
Diseño de mezclas asfálticas en climas fríos	La mezcla de asfalto se usó ampliamente en pavimentos de alto grado debido a la característica de bajo nivel de ruido, superficie lisa, conducción cómoda y sin costuras y período de construcción corto [43].	Se realizarán asfálticas para que los pavimentos efectuados en zonas frías mejoren su capacidad de resistencia	Diseño de mezcla Propiedades en estado fresco Propiedades en estado endurecido	Diseño óptimo para climas fríos Propiedades físicas Propiedades mecánicas y químicas	% Esfuerzo	Análisis documental (revisión de literatura) Observación (fichas de observación)	% Esfuerzo	Variable Dependiente	Intervalo

Nota: Tabla I muestra la operacionalización de las variables en estudio

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

Población

Población de estudio, lo conforman las briquetas que serán elaboradas con cemento asfáltico 40/50 PEN (proveedor PETROPERÚ) y agregados de la cantera Tres tomas; y donde posteriormente serán sometidas a ensayos, teniendo en cuenta la Normativa AASTHO y MTC.

Muestra

Muestra, será el número de briquetas (108 briquetas) desarrolladas mediante el método espumado y convencional para el proyecto de mezclas asfálticas en caliente en zonas frías de la Región Lambayeque.

Tabla II

Total de muestras de investigación

Optimo contenido de asfalto total briquetas				Optimo contenido de agua total briquetas			
% asfalto	transito bajo	trans medio	trans alto	% agua	trans bajo	trans medio	trans alto
	35 golpes	50 golpes	75 golpes		35 golpes	50 golpes	75 golpes
4.50%	3	3	3	1%	3	3	3
5.00%	3	3	3	1.50%	3	3	3
5.50%	3	3	3	2%	3	3	3
6.00%	3	3	3	2.50%	3	3	3
6.50%	3	3	3	3%	3	3	3
optimo contenido				Optimo contenido			
5.80%	3	3	3	2.25%	3	3	3
Total	18	18	18	Total	18	18	18
			54				54
Total, de muestras							108

Nota. En la Tabla se muestra las muestras que se elaboran para posteriormente someterlas a diferentes ensayos.

Muestreo

Se realizó un muestreo de una sola cantera, siendo esta la Tres Tomas, de donde se tomó los materiales tanto finos y gruesos.

Criterios de selección y exclusión

Criterios de selección:

- Briquetas elaboradas con cemento asfáltico 40/50 PEN (proveedor PETROPERÚ) y agregados de la cantera Tres tomas.
- Mezclas asfálticas diseñadas para climas fríos de la Región Lambayeque.
- Cumplimiento con la normativa AASHTO y MTC.
- Ensayos realizados en condiciones controladas.

Criterios de exclusión:

- Briquetas elaboradas con otros materiales o combinaciones diferentes.
- Mezclas asfálticas diseñadas para climas diferentes a los de la Región Lambayeque.
- No cumplimiento con la normativa AASHTO y MTC.
- Ensayos realizados en condiciones no controladas.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos

Por ser investigación cuantitativa [66], menciona que las fuentes de obtención de información serán concretizadas a través del desarrollo de técnicas:

- Observación: Empleado con la finalidad de poder adquirir los datos necesarios y así llevar a cabo la realización del proyecto, y posterior a ello evaluar las características que evidenció el proyecto.
- Análisis de documentos: Emplea esta técnica con la finalidad de conocer los requerimientos que arroja la investigación, teniendo en cuenta la normatividad vigente. Asimismo, se analizaron las investigaciones anteriormente efectuadas.
- Ensayos de laboratorio: Aquí se efectúan los distintos ensayos teniendo en cuenta el proyecto en ejecución.

Instrumentos de recolección de datos

Al mismo tiempo, se empleó instrumentos de recolección de información:

- Guía de observación: Se hizo uso de formatos y guías teniendo en cuenta los ensayos que se iban a llevar a cabo para la ejecución del proyecto en estudio.
- Guía de análisis documental: Se tuvo en cuenta la normativa Peruana Vigente y el Manual de Carreteras - Especificaciones técnicas Generales para Construcción - EG-2013” sección 423.

Validez

En esta fase fue necesario que se realicen ensayos de calidad y se lleve un adecuado control; además de la correcta interpretación de la información obtenida para certificar la veracidad de todos los ensayos anteriormente llevados a cabo y que sobre todo cumplan con las exigencias establecidas para la evaluación de las HMA.

Confiabilidad de datos

Por la guía de observación aplicada en el estudio, se realizó el análisis de confiabilidad, aplicando alfa de Cronbach, por ende, al procesarlo en SPSS V.26, se debe obtener valores mayores a 0.7 que significa que el instrumento es bueno. Por la cual, para comprobar la veracidad del instrumento se aplicó la consistencia interna dada por el método alfa de Cronbach, mismo que se define como:

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right]$$

Donde:

α = Alfa de Cronbach

V_i = Varianza de cada Ítem

K = Número de Ítems

V_t = Varianza total

El instrumento tiene una consistencia interna de:

Alfa de Cronbach	N de elementos
,904	15

El resultado muestra que el instrumento es altamente confiable.

2.5. Procedimiento para la recolección de datos

2.5.1. Diagrama de proceso de flujo

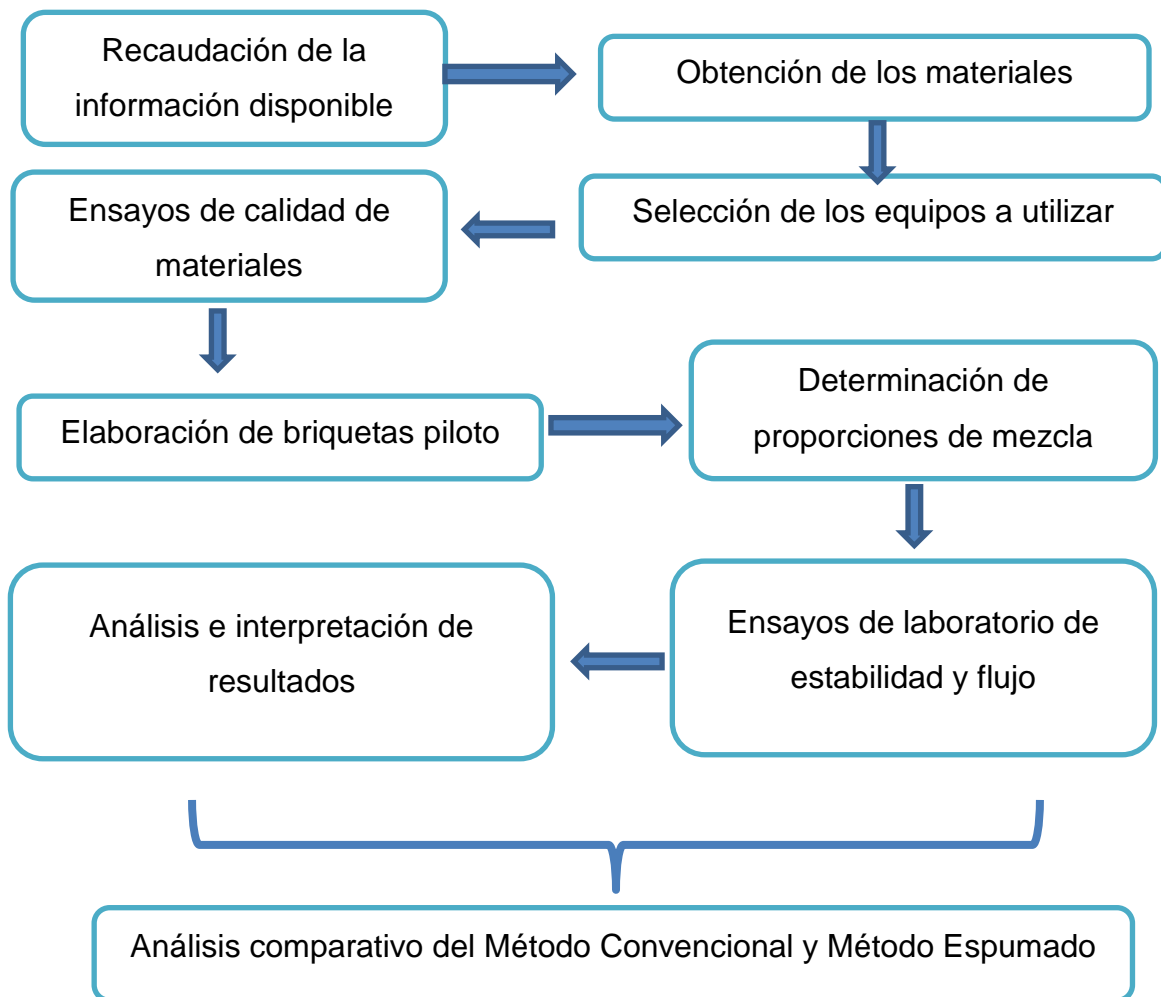


Fig. 2. Diagrama de procesos

Nota. De la Fig. 2 se muestra el diagrama de procesos

2.5.2. Proceso escrito de los ensayos

Los resultados de su desarrollo obedecerán a los lineamientos obtenidos de los ensayos técnicos de los agregados gruesos (AG) como agregados finos (AF) (Análisis granulométrico, Límites de plasticidad, Equivalente de arena, Peso específicos de los agregados, desgaste de los agregados, Caras fracturadas, Partículas chatas y alargadas, Sales solubles); las cuales se realizarán en hojas de cálculo para el procesamiento de datos. La información obtenida del Diseño de Mezclas por el método convencional y el método espumado, se determinará el contenido óptimo de asfalto, estabilidad y flujo se utilizó el Método Marshall, las cuales se realizarán en hojas de cálculo para el procesamiento de datos.

2.6. Criterios éticos

Se basaron en los principios generales y específicos otorgados por la casa de estudio, tal cual se especifica en los Art. 5 y Art. 6 en el código de ética. Del mismo modo, se centró en la Ley Universitaria 30220: Principio de ética pública y profesional

[67]

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Analizar el método espumado en comparación con el método convencional, en el diseño de mezclas de asfalto en climas fríos de la región Lambayeque

Objetivo específico 1: Realizar un estudio de canteras de los agregados a utilizar, caracterizando sus propiedades físicas.

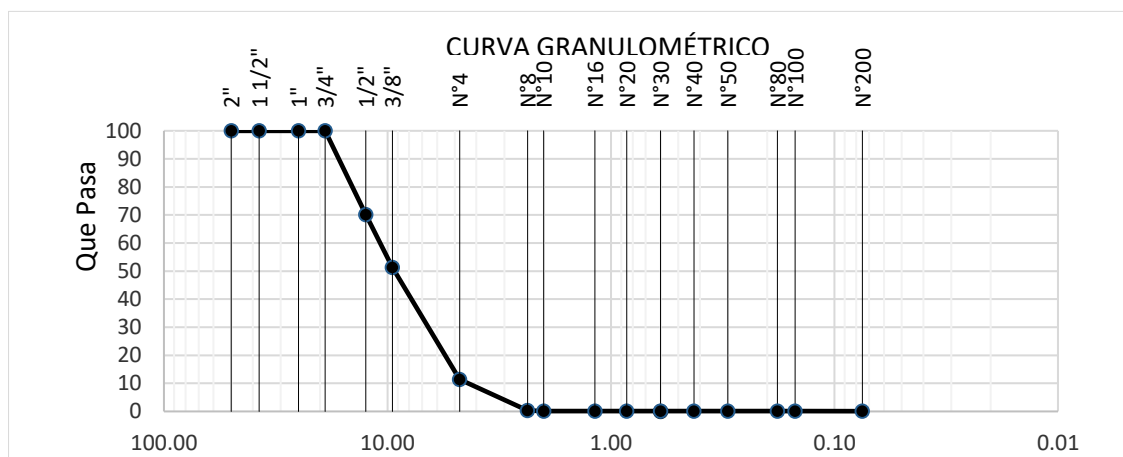


Fig. 3. Análisis granulométrico del agregado grueso

Nota. En la Fig. 3 muestran la curva granulométrica considerando en las normas internacionales vigentes, se observa en la figura 3 el caso del AG, presentó un módulo de fineza de 29,9 con un tamaño nominal de 1/2"; mientras en la figura 4 el caso del AF, presentó un módulo de fineza de 5,2 con un tamaño

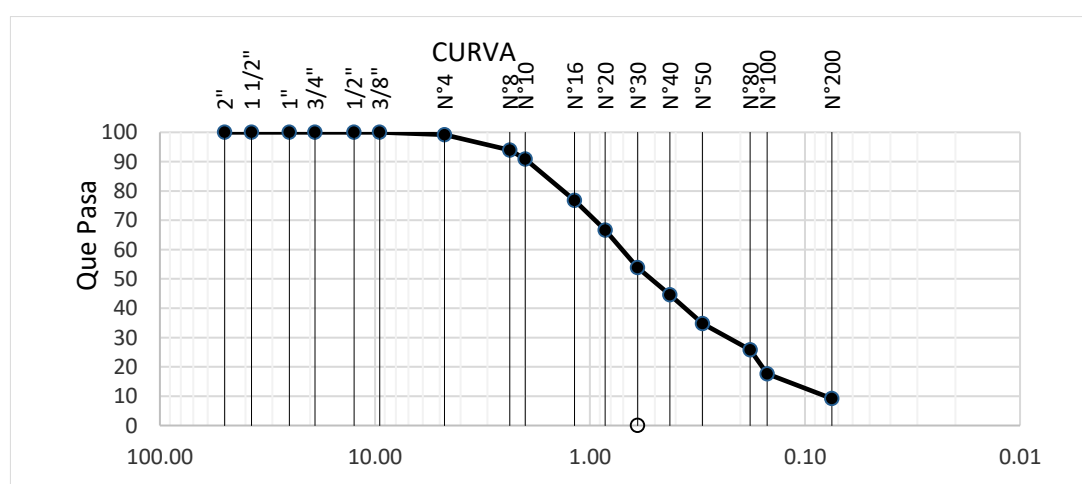


Fig. 4. Análisis granulométrico del agregado fino

Nota. En la Fig. 4 muestran la curva granulométrica considerando en las normas

internacionales vigentes, se observa en la figura 3 el caso del AG, presentó un módulo de fineza de 29,9 con un tamaño nominal de 1/2"; mientras en la figura 4 el caso del agregado fino, presentó un módulo de fineza de 5,2 con un tamaño nominal de N° 8

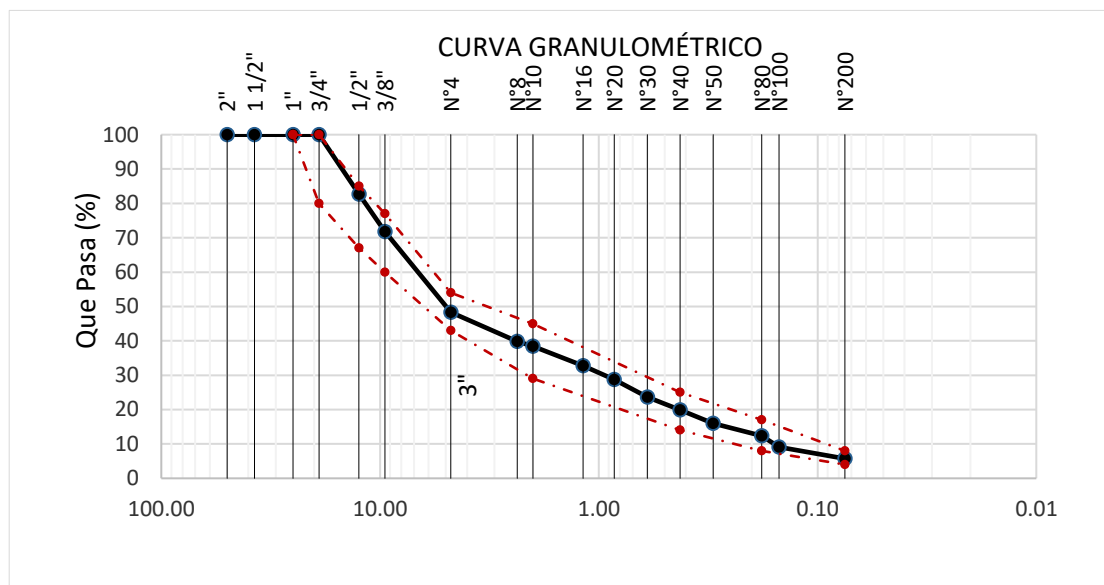


Fig. 5. Análisis granulométrico del agregado global, combinado agregado fino 58% + agregado grueso 40%

Nota. En la Fig. 5 se muestran la curva granulométrica considerando en las normas internacionales vigentes, se observó que la curva se encuentra dentro de los límites superior e inferior por lo tanto cumple con las consideraciones de la normativa vigente.

Tabla III

Requerimiento del agregado fino según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Tamaño De Malla	% De pérdida después	% De pérdida
Pasante	Retenido	del ensayo
		corregidas
N° 4	N° 8	13.90
N° 8	N° 16	11.70
N° 16	N° 30	15.00
N° 30	N° 50	14.50
N° 50	N° 100	12.40
TOTALES		11.06

Nota. Se observa en la Tabla III el requerimiento de agregado fino según la

inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, tomando en cuenta los valores más altos para el pasante N°16 siendo retenido en el pasante N° 30 con un % de pérdida después del ensayo de 15,0 mientras que el % de pérdida corregida fue de 3,44

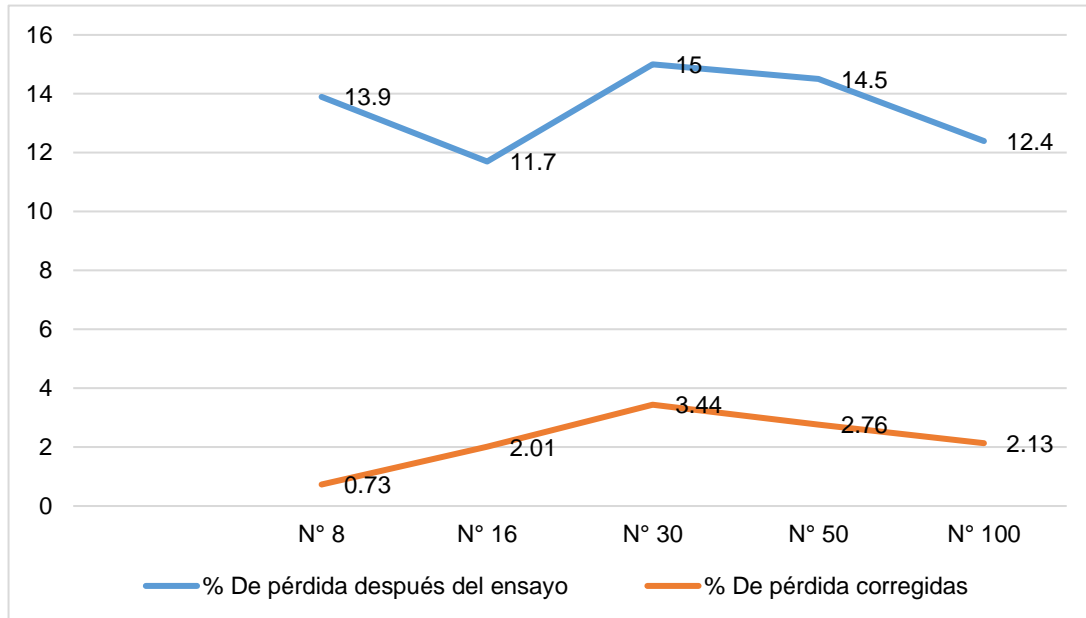


Fig. 6. Requerimiento del agregado fino según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota. Tomado de los resultados Tabla III.

Tabla IV

Requerimiento del agregado grueso según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Tamices		Pérdida de peso en porcentaje
Pasa	Retenido	
2 1/2"	1 1/2"	0.00 %
1 1/2"	3/4 "	0.00 %
3/4 "	3/8"	0.73 %
3/8"	N°4	0.72 %
Total (Durabilidad)		1.45 %

Nota. Se observa en la Tabla IV el requerimiento de agregado grueso según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, se considera los valores más altos para el pasante 3/4" siendo retenido en el pasante 3/8" con una pérdida de peso de 0,73%

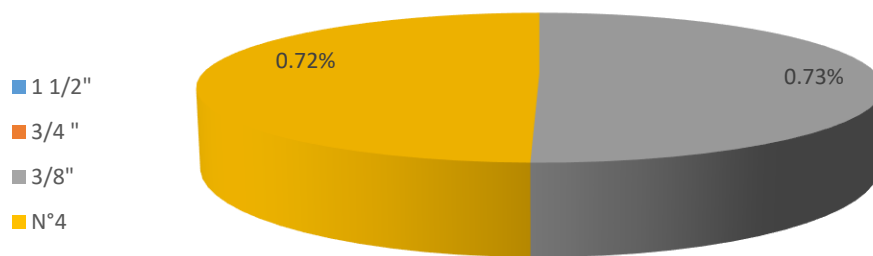


Fig. 7. Requerimiento del agregado grueso según la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Nota. Se toma los resultados de Tabla IV

Tabla V

Requerimiento según el ensayo de sales solubles totales del agregado fino y grueso

	Agregado fino		Agregado Grueso	
Muestra usada (g)	50		50	
Agua destilada usada (ml)	100		100	
Relación de la mezcla suelo - agua destilada	2	2	2	2
Número de beaker	v-1	v-2	v-3	v-4
Masa de beaker (g)	35.841	35.894	35.901	35.924
Masa de beaker + residuo de sales (g)	35.858	35.909	35.922	35.931
Masa de residuo de sales (g)	0.017	0.015	0.021	0.007
Volumen de la solución tomada (ml)	30	30	30	30
Constituyentes de sales solubles totales (ppm)	1133	1000	1400	467
Constituyentes de sales solubles totales (%)	0.11	0.10	0.14	0.05
PROMEDIO (ppm)	1067		933	
PROMEDIO (%)	0.11		0.09	
NORMA MTC E 219 (%)	0.5	CUMPLE	0.5	CUMPLE

Nota. Se observa en la Tabla V el requerimiento según el ensayo de sales solubles totales del agregado fino y grueso, se considera los valores promedio (ppm) es de 1067 ppm para el agregado fino y 933 ppm para el agregado grueso; además el porcentaje promedio fue de 0,11% para agregado fino y de 0,09% para agregado grueso, siendo esto valores menores a 0,5% propuesto por la norma MTC 219 (%)

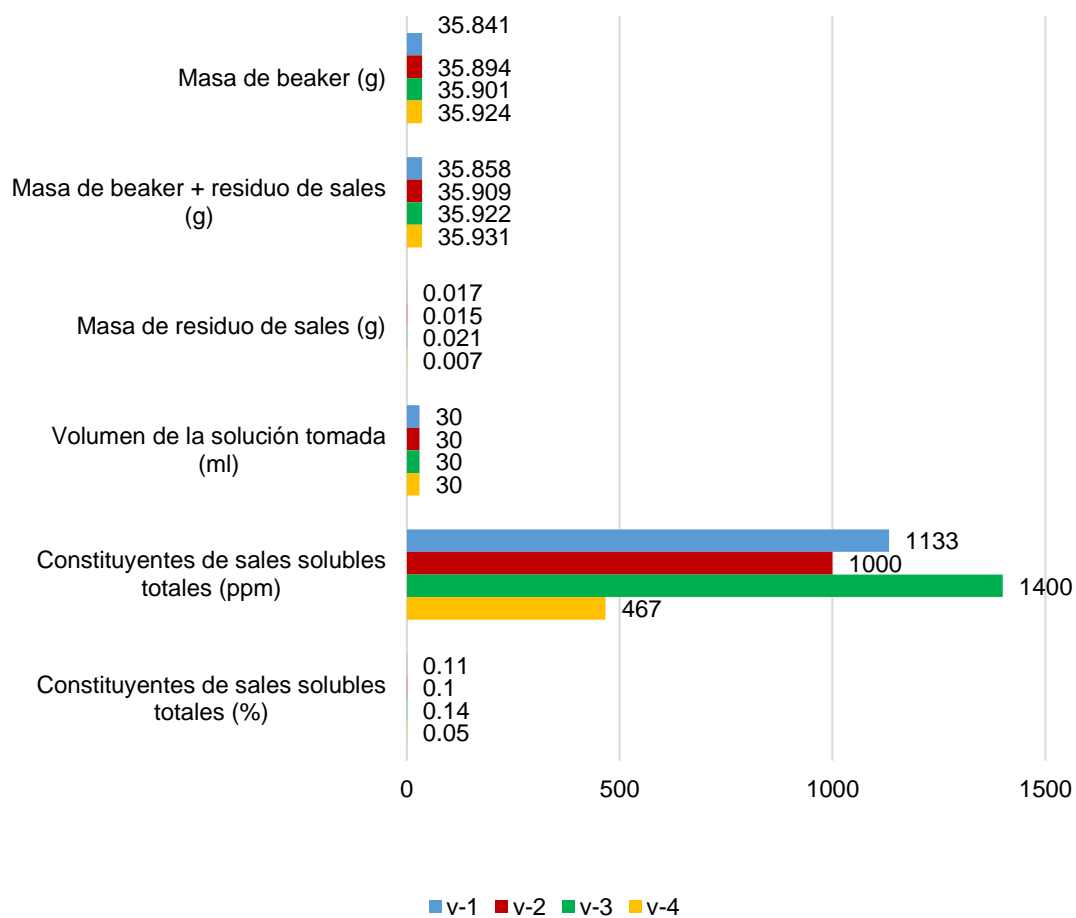


Fig. 8. Requerimiento según el ensayo de sales solubles totales del agregado fino y grueso

Nota. Se toma los resultados de la Tabla V.

Tabla VI

Requerimiento según el ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino y grueso.

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico de Masa (gr/cm³)	2.582	2.696
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (gr/cm³)	2.593	2.719
Peso Específico Aparente (gr/cm³)	2.611	2.760
Porcentaje De Absorción (%)	0.432	0.863

Nota. En la Tabla VI se observa el ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción esto es para el caso del agregado fino se tiene un peso específico de masa de 2,582 gr/cm³; peso específico de Masa Saturado Superficialmente Seco de 2,593 gr/cm³; peso específico aparente 2,611 gr/cm³ y porcentaje de absorción 0,432%, siendo mayores los valores encontrados para el agregado grueso esto es peso específico de masa de 2,696 gr/cm³; peso específico de Masa Saturado Superficialmente Seco de 2,719 gr/cm³; peso específico aparente 2,760 gr/cm³ y porcentaje de absorción 0,863%.

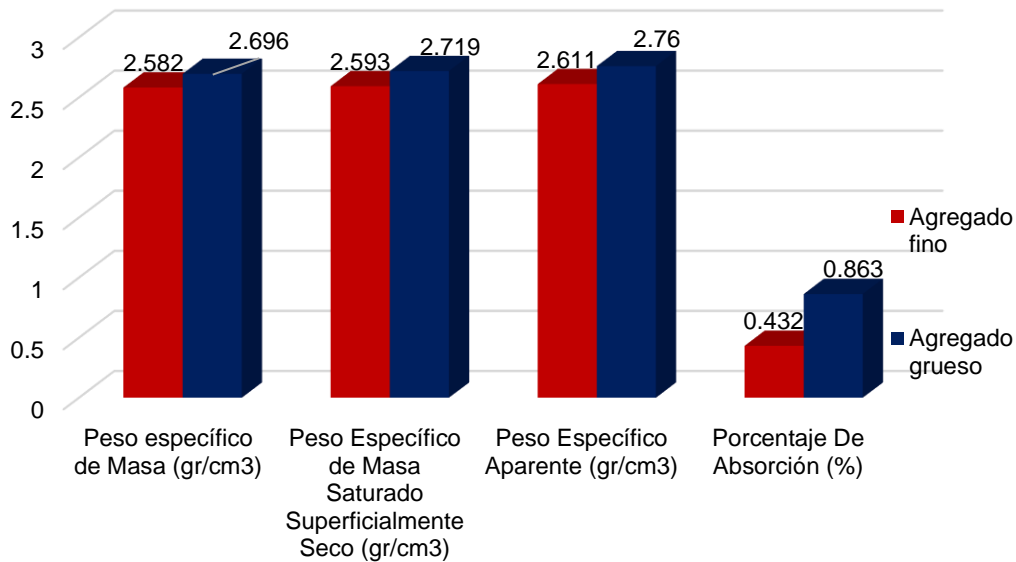


Fig. 9. Requerimiento según el ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino y grueso

Nota. Se toma los resultados de la Tabla VI

Tabla VII

Control de calidad para el requerimiento del Agregado Fino

Ensayo	Resultado	Requerimiento ≤ 3000 m.s.n.m	Referencia	
			MTC	NORMA ASTM/AASTHO
Equivalente de arena	70.00%	Mínimo 45%	MTC E-209	ASTM-D-2419
Angularidad del agregado fino	39.99%	6% min	MTC E-220	MTC E-220
Índice de plasticidad (malla n°200)	2.09	No presenta	MTC E-111	ASTM-D-4318
Agregados. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.	6.54%	15% máx.	MTC E-209	ASTM-C-88
Sales solubles totales	0.29%	0.5% máx.	MTC E-219	ASTM-D-1888
Absorción	58.00%	De acuerdo con el diseño	MTC E-205	ASTM-C-118

Nota. En la Tabla VII se observa el control de calidad para el requerimiento del AF donde el equivalente de arena es 70,0% mayor que el requerimiento mínimo de 45,0%; en cuanto a la Angularidad del agregado fino es de 39,99% mayor que el requerido del valor mínimo de 6,0%; el índice de plasticidad considerando la malla N° 200 es de 2,09; además los agregados en cuanto a la determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio fue de 6,54% teniendo un rango máximo del 15,0% mientras que para sales solubles totales se obtuvo un 0,29% menor al valor máximo de 0,5%, además el valor de absorción fue de 58,0% que cumple con las características del diseño.

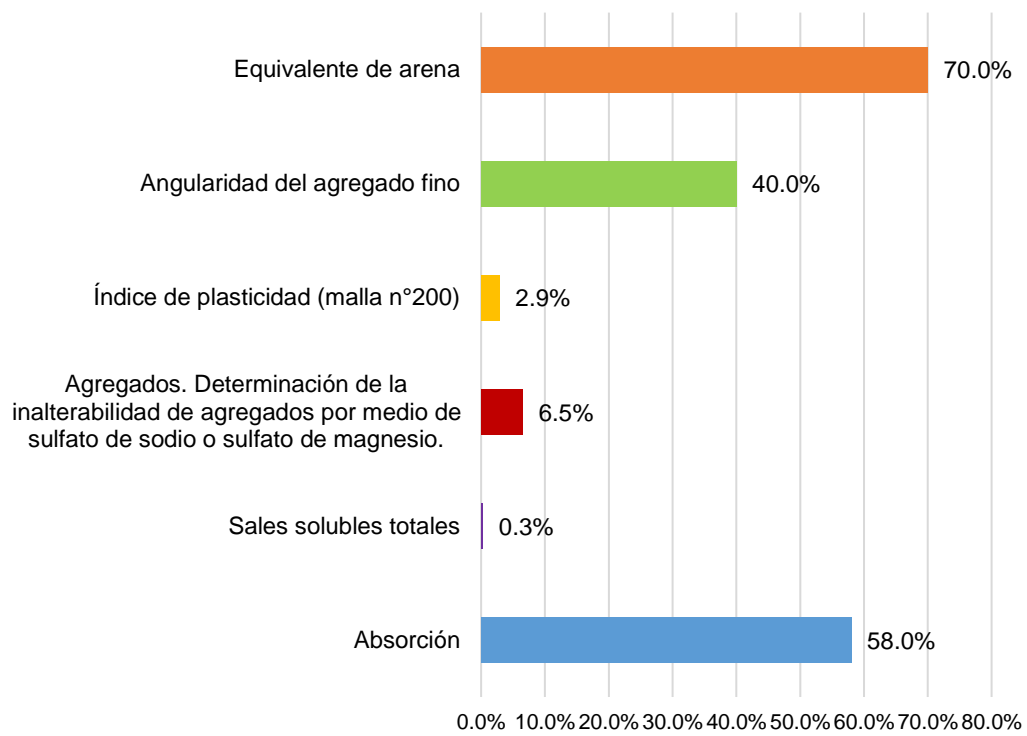


Fig. 10. Control de calidad para el requerimiento del Agregado Fino

Nota. Se toma los resultados de la Tabla VII

Tabla VIII

Control de calidad para el requerimiento del Agregado Grueso

Ensayo	Resultado	Requerimiento ≤ 3000 m.s.n.m	Referencia	
			MTC	NORMA ASTM/AASTHO
AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.	5.33%	15% Max	MTC E-209	ASTM-C-88
AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina	11.96%	35% Max	MTC E-207	ASTM-C-131
AGREGADOS. Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.	2.84%	10% Max	MTC E-223	ASTM-D-4791
Una cara fracturada	96.0%	40% Min	MTC E-210	ASTM-D-5821
Dos caras fracturadas	79.3%			
Sales solubles totales	0.28%	0.5% Max	MTC E-219	ASTM-D-1888
Absorción	0.7618%	1.00%	MTC E-205	ASTM-C-118

Nota. En la Tabla VIII se observa el control de calidad para el requerimiento del AG, esto para el caso de agregados considerando la determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio fue de 5,333 menor al valor máximo del 15,0%. Sobre el agregado por el método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto fue 11,96% menor al valor máximo del 35,0%. Sobre las partículas chatas o alargadas se obtuvo 2 84% siendo un máximo de 10,0%. En cuanto a fracturas de una sola fractura es 96,0% y dos fracturas fue de 79,3%. Sobre las sales solubles resultó 0,28% menor al 0,5% y sobre la absorción se tiene un resultado de 0,76% menor al 1,00%.

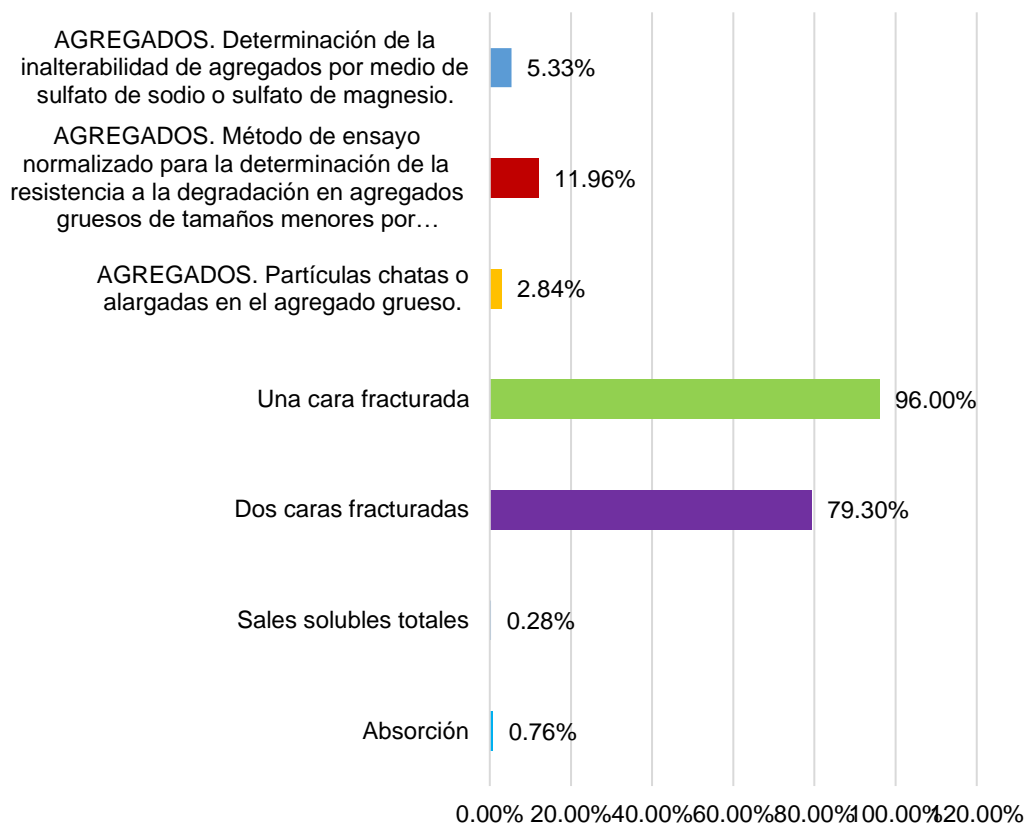


Fig. 11. Control de calidad para los requerimientos del Agregado Grueso

Nota. Se toma los resultados de la Tabla VIII

Objetivo específico 2: Elaborar diseños de Mezcla Asfáltica caliente por el método convencional

Tabla IX

Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima Muestra patrón

Descripción	Muestra patrón			
	MUESTRA Nº	Tránsito bajo	Tránsito medio	Tránsito alto
Peso del Frasco		581.2	581.2	581.2
Peso del Frasco + Agua+ Vidrio		2608.9	2608.9	2608.9
Diferencia del Peso		1791.3	1791.4	1791.3
Peso del Frasco + Muestra + Agua		3781.0	3781.1	3781.0
Peso Neto de la Muestra		1989.7	1989.7	1989.7
Agua Desplazada		817.6	817.5	817.6
Peso Específico Máximo de la Muestra		2.4	2.4	2.4
Contenido % C.A.		5.5	5.5	5.5

Nota. En la Tabla IX se describe el ensayo de la gravedad específica teórica máxima considerando la muestra patrón donde la mayor diferencia de peso se observa en la prueba de tránsito medio con un valor de 1791.4; tomado en cuenta 817,5 con un peso específico máximo de la muestra de 2,4 y un contenido % C.A de 5,5.

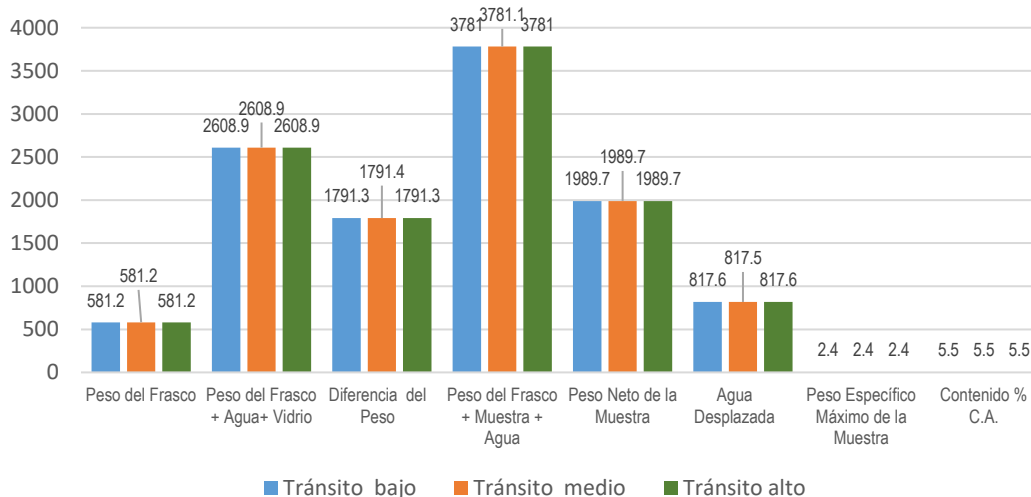


Fig. 12. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima Muestra patrón

Nota. Se toma los resultados de la Tabla IX

Tabla X

Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra patrón

Descripción	Golpe 35	Valores extremos	Golpe 50	Valores extremos	Golpe 75	Valores extremos
% C. A.	5.50	**	5.50		5.50	
P. Unitario	2.314	**	2.312		2.313	
Vacios	4.5	3 - 5	4.5	3 - 5	4.5	3 - 5
V.M.A.	17.0	14.0	17.2	14.0	17.3	14.0
V. L.I.C.A.	72.6	**	72.6		72.6	
Polvo / Asfalto	0.94	0.6 - 1.3	0.95	0.6 - 1.3	0.94	0.6 - 1.3
Flujo	9.7	8-20	9.2	8-16	8.8	8-14
Estabilidad	10.7	4.53 kN.	10.4	5.44 kN.	12.2	8.15 kN.
Estabilidad/Flujo	3143.9	1700 - 4000	2964.0	1700 - 4000	3370.2	1700 - 4000

Nota. En la Tabla X se describen las características Marshall para la muestra patrón considerando el N° de golpes 35; 50 y 75 donde el % C.A fue de 5,5 respectivamente; el mayor peso unitario fue en el golpe 35 con un valor de 2,314 el valor de vacíos fue de 4,5 (3 – 5); en relación al polvo/asfalto el mayor promedio se encontró en el golpe 50

con 0,95 (0,6 – 1,3); la mayor relación entre la estabilidad y el flujo fue de 3370,2 (1700 – 4000) para el golpe 75.

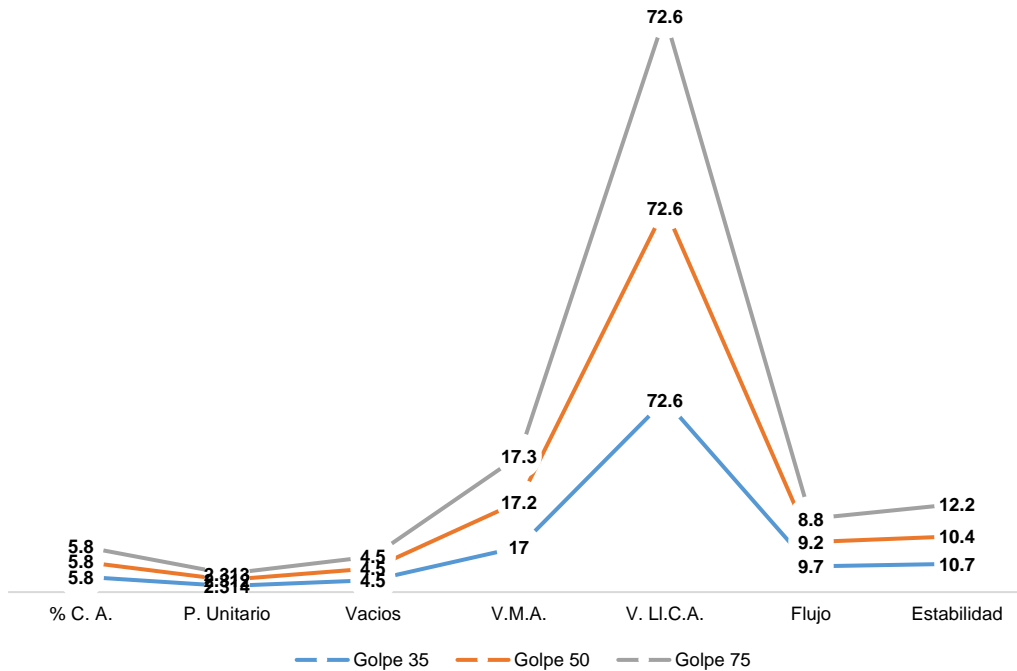


Fig. 13. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra patrón

Nota. Se toma los resultados de la Tabla X

Tabla XI

Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima al 5,8%

MUESTRA N°	Valor óptimo al 5,8%		
	Tránsito bajo	Tránsito medio	Tránsito alto
Peso del Frasco	581.2	580.3	582.0
Peso del Frasco + Agua+ Vidrio	2608.9	2600.1	2606.8
Diferencia del Peso	1789.3	1787.5	1790.5
Peso del Frasco + Muestra + Agua	3777.4	3776.6	3780.6
Peso Neto de la Muestra	1988.1	1989.1	1990.1

Agua Desplazada	819.6	812.6	816.3
Peso Específico Máximo de la Muestra	2.4	2.4	2.4
Contenido % C.A.	5.8	5.8	5.8

Nota. En la Tabla XI se describe el ensayo de la gravedad específica teórica máxima tomando un valor óptimo 5,8% donde la mayor diferencia de peso se observa en la prueba de tránsito medio y tránsito alto con 1787,5 respectivamente; el mayor peso neto de la muestra fue de 1990, 1 para el tránsito alto; la mayor cantidad de agua desplazada se observó en el tránsito bajo con 819,6 con un valor de contenido % C.A de 5,8 respectivamente.

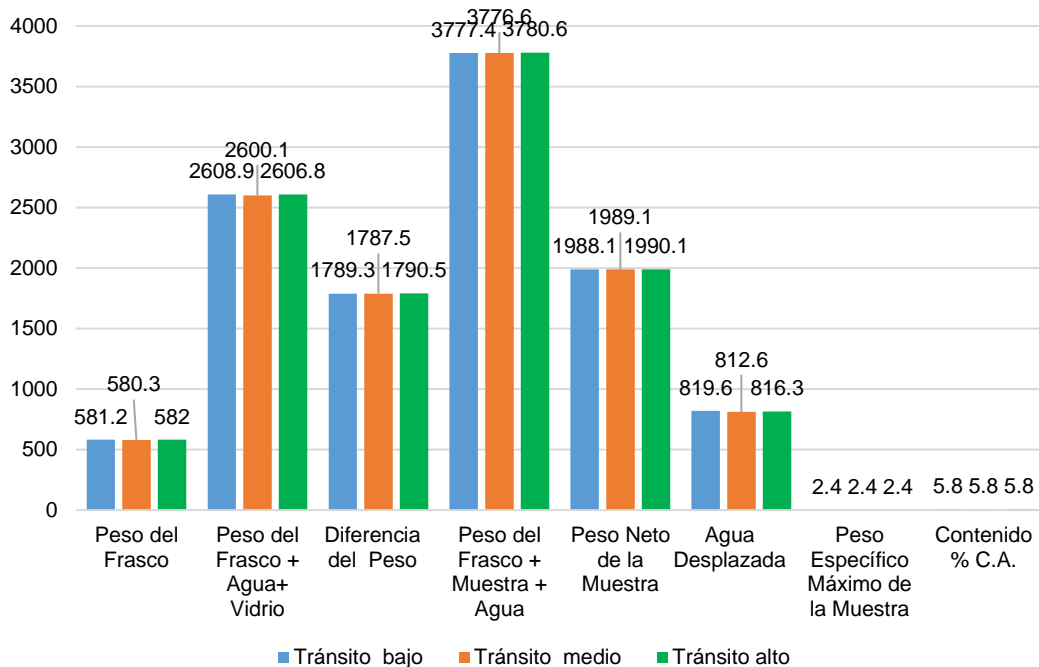


Fig. 14. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según ensayo de gravedad específica teórica máxima al 5,8%

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XI

Tabla XII

Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra óptima al 5,8%

	Golpe 35	Valores extremos	Golpe 50	Valores extremos	Golpe 75	Valores extremos
% C. A.	5.80		5.80	0	5.80	0
P. Unitario	2.317		2.341	0	2.32	0
Vacíos	4.5	3 - 5	4.4	3 - 5	4.66	3 - 5
V.M.A.	17.2	14.0	16.4	14	16.9	14
V. LI.C.A.	74.0		73.3	0	72.5	0
Polvo / Asfalto	0.93	0.6 - 1.3	0.87	0.6 - 1.3	0.90	0.6 - 1.3
Flujo	10.0	8-20	15.3	8-16	12.5	8-14
Estabilidad	11.6	4.53 kN.	12.8	5.44 kN.	14.9	8.14 kN.
Estabilidad/Flujo		1700 – 4000		1700 - 4000		1700 - 4000
	3009.2	4000	2183.5		3094.4	4000

Nota. En la Tabla XII se describen las características Marshall para la muestra óptima al 5,8% considerando el N° de golpes 35; 50 y 75 donde % C.A fue de 5,8 respectivamente; el mayor peso unitario fue en el golpe 50 con un valor de 2,341 el valor de vacíos fue de 4,66 (3 – 5); en relación al polvo/asfalto el mayor promedio se encontró en el golpe 35 con 0,93 (0,6 – 1,3); la mayor relación entre la estabilidad y el flujo fue de 3094,4 (1700 – 4000) para el golpe 75

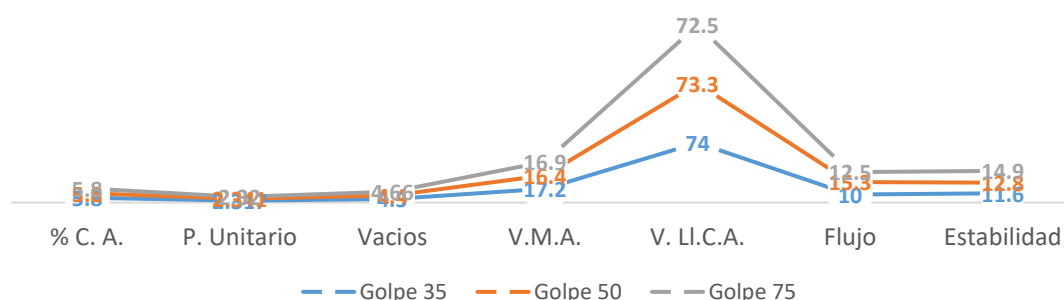


Fig. 15. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra óptima al 5,8%

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XII

Objetivo específico 3: Elaborar diseños de Mezcla Asfáltica caliente por el método espumado.

Tabla XIII

Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según Ensayo de gravedad específica teórica máxima con espumante

MUESTRA Nº	Espumado		
	Tránsito bajo	Tránsito medio	Tránsito alto
Peso del Frasco	581.2	581.2	581.2
Peso del Frasco + Agua+ Vidrio	2608.9	2608.9	2608.9
Diferencia del Peso	1780.9	1783.0	1782.0
Peso del Frasco + Muestra + Agua	3782.1	3782.7	3781.9
Peso Neto de la Muestra	2001.2	1999.7	1999.9
Agua Desplazada	828.0	825.9	826.9
Peso Específico Máximo de la Muestra	2.4	2.4	2.4
Contenido % C.A.	5.80	5.80	5.80
Espumante %	2.00	2.00	2.00

Nota En la Tabla XIII se describe el ensayo de la gravedad específica teórica máxima considerando el espumante donde la mayor diferencia de peso se observa en la prueba de tránsito medio con 1783,0; el mayor peso neto de la muestra fue de 2001,2 para el tránsito bajo; la mayor cantidad de agua desplazada se observó en el tránsito bajo con 828,0 con un valor de contenido % C.A de 5,8 respectivamente.

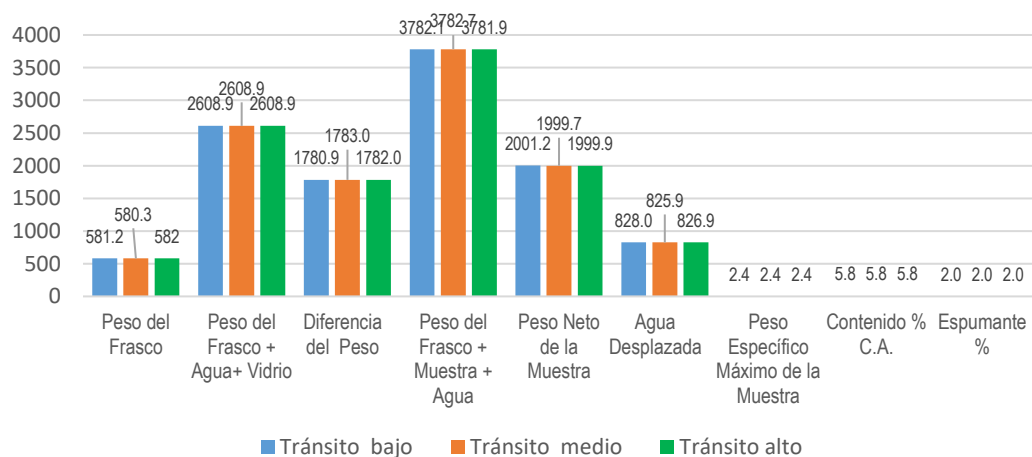


Fig. 16. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según Ensayo de gravedad específica teórica máxima con espumante

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XIII

Tabla XIV

Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra con espumado

	Golpe 35	Valores extremos	Golpe 50	Valores extremos	Golpe 75	Valores extremos
% Espumante	2.25		2.25	0	2.25	0
% C. A.	5.80		5.80	0	5.8	0
P. Unitario	2.310		2.320	0	2.322	0
Vacíos	4.4	3 - 5	4.2	3 - 5	4.0	3 - 5
V.M.A.	17.5	14.0	17.1	14	17.0	14
V. L.I.C.A.	74.5		75.5	0	76.6	0
Polvo / Asfalto	0.96	0.6 - 1.3	0.94	0.6 - 1.3	0.95	0.6 - 1.3
Flujo	11.6	8-20	11.7	8-16	11.7	8-16
Estabilidad	11.6	4.53 kN.	12.4	5.44 kN.	13.5	5.44 kN.
Estabilidad/Flujo	2592	1700 - 4000	2739	1700 - 4000	2979	4000

Nota. En la Tabla XIV se describen las características Marshall para la muestra con espumado al 2.25 y considerando el N° de golpes 35; 50 y 75 donde % C.A fue de 5,8 respectivamente; el mayor peso unitario fue en el golpe 75 con un valor de 2,322 el valor de vacíos fue de 4,4 (3 – 5); en relación al polvo/asfalto el mayor promedio se encontró en el golpe 35 con 0,96 (0,6 – 1,3); la mayor relación entre la estabilidad y el flujo fue de 2979,0 (1700 – 4000) para el golpe 75.

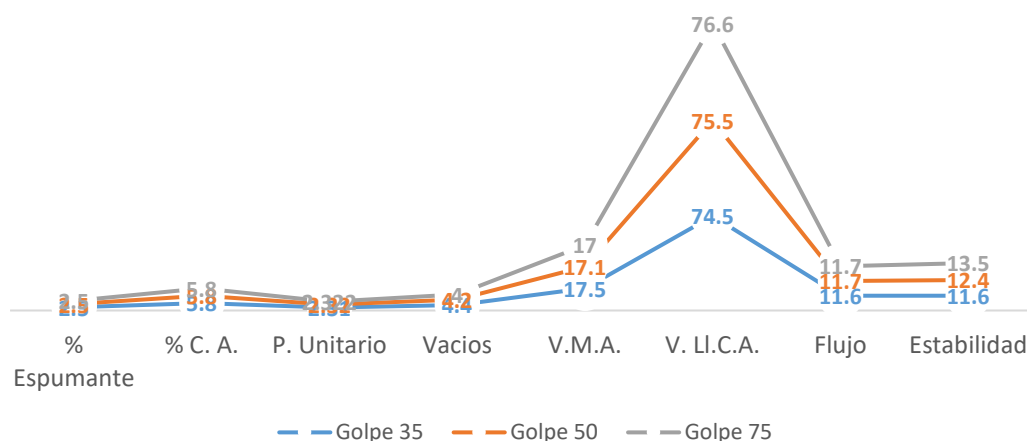


Fig. 17. Diseño de Mezcla Asfáltica Caliente según características Marshall para muestra con espumado

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XIV

Tabla XV

Cantidad de briquetas empleadas para el análisis de la de asfalto total y contenido
óptimo de agua

% asfalto	óptimo contenido de asfalto			% agua	óptimo contenido de agua		
	Tránsit o bajo 35 golpes	Tránsit o medio 50 golpes	Tránsit o alto 75 golpes		Tránsit o bajo 35 golpes	Tránsito medio 50 golpes	Tránsit o alto 75 golpes
4.50%	3	3	3	1%	3	3	3
5.00%	3	3	3	1.50%	3	3	3
5.50%	3	3	3	2%	3	3	3
6.00%	3	3	3	2.50%	3	3	3
6.50%	3	3	3	3%	3	3	3
óptimo				óptimo			
5.80%	3	3	3	2.25%	3	3	3
total	18	18	18	total	18	18	18
			54				54
		total, de briquetas					108

Nota. En la Tabla XV se observa que en total se emplean 108 briquetas compactadas agrupadas en 54 briquetas agrupadas en promedios de 3 briquetas considerando golpes de 35; 50 y 75; para el caso del análisis óptimo de contenido de asfalto y 54 briquetas agrupadas en promedios de 3 briquetas considerando golpes de 35; 50 y 75; para el caso del análisis óptimo de contenido de agua.

Tabla XVI

Características óptimas según contenido de agua al 2.25%

Contenido De Agua 2.25%	Tránsito bajo 35 golpes	Tránsito medio 50 golpes	Tránsito alto 75 golpes
Promedio peso	1208.15	1204.7	1207.2
Promedio estabilidad kN	14.52	10.28	14.35
Promedio flujo	17.5	16	15.33

Nota. Se observan las características óptimas según contenido de agua al 2.25% donde resaltan los valores promedios encontrado en el tránsito bajo con 35 golpes; esto es; peso promedio de 1208,15; el promedio de estabilidad 14,52 y promedio de flujo 17,55

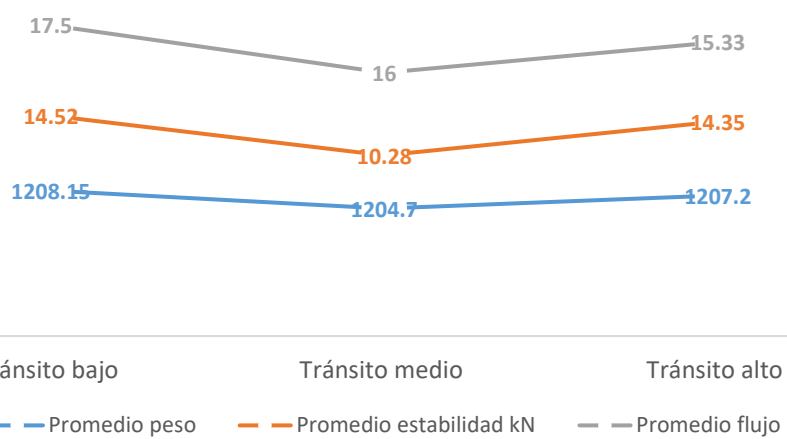


Fig. 18. Características óptimas según contenido de agua al 2.25%

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XVI

Objetivo específico 4: Comparar las propiedades físicas/mecánicas de las MA por el método convencional y espumado en estado fresco y endurecido, mediante reglamentación MTC.

Tabla XVII

Características Marshall según propiedades físicas/mecánicas de las MA por el método convencional y espumado

<u>CARACTERISTICAS MARSHALL</u>						
	MUESTRA PATRÓN	ESPUMADO	MUESTRA PATRÓN	ESPUMADO	MUESTRA PATRÓN	ESPUMADO
Golpes	35	35	50	50	75	75
%Espumante	-	2.25	-	2.25	-	2.25
% C. A.	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80
P. Unitario	2.314	2.310	2.312	2.320	2.313	2.322
Vacíos	4.5	4.4	4.5	4.2	4.5	4.0
V.m.a.	17.0	17.5	17.2	17.1	17.3	17.0
V. Ll.c.a.	72.6	74.5	72.6	75.5	72.6	76.6
Polvo/asfalto	0.94	0.96	0.95	0.94	0.94	0.95
Flujo	9.7	11.6	9.2	11.7	8.8	11.7
Estabilidad	10.7	11.61	10.4	12.40	12.2	13.5
Estabilidad/ flujo	3143.9	2592	2964.0	2739	3370.2	2979.0

Nota. En cuanto a las características Marshall aplicado a los golpes 35; 50 y 75 se observa que los valores observados en el caso de %C.

A se mantiene constante en ambos casos y en todas las pruebas. En cuanto a P. unitario se observa en el golpe 35 para la muestra patrón obtiene un máximo de 2.314 mientras que el máximo valor para el método espumado está en el golpe 75 con un valor de 2.322. En cuanto a los vacíos la muestra patrón es constante en todas las pruebas, sin embargo, el método espumado tiene un máximo valor en el golpe 35 con 4,4. La mejor estabilidad que presenta la muestra patrón se encuentra en el golpe 75 con un valor de 12,2 mientras que en el método espumado la mejor estabilidad se presentó en el golpe 75 con 13,5.

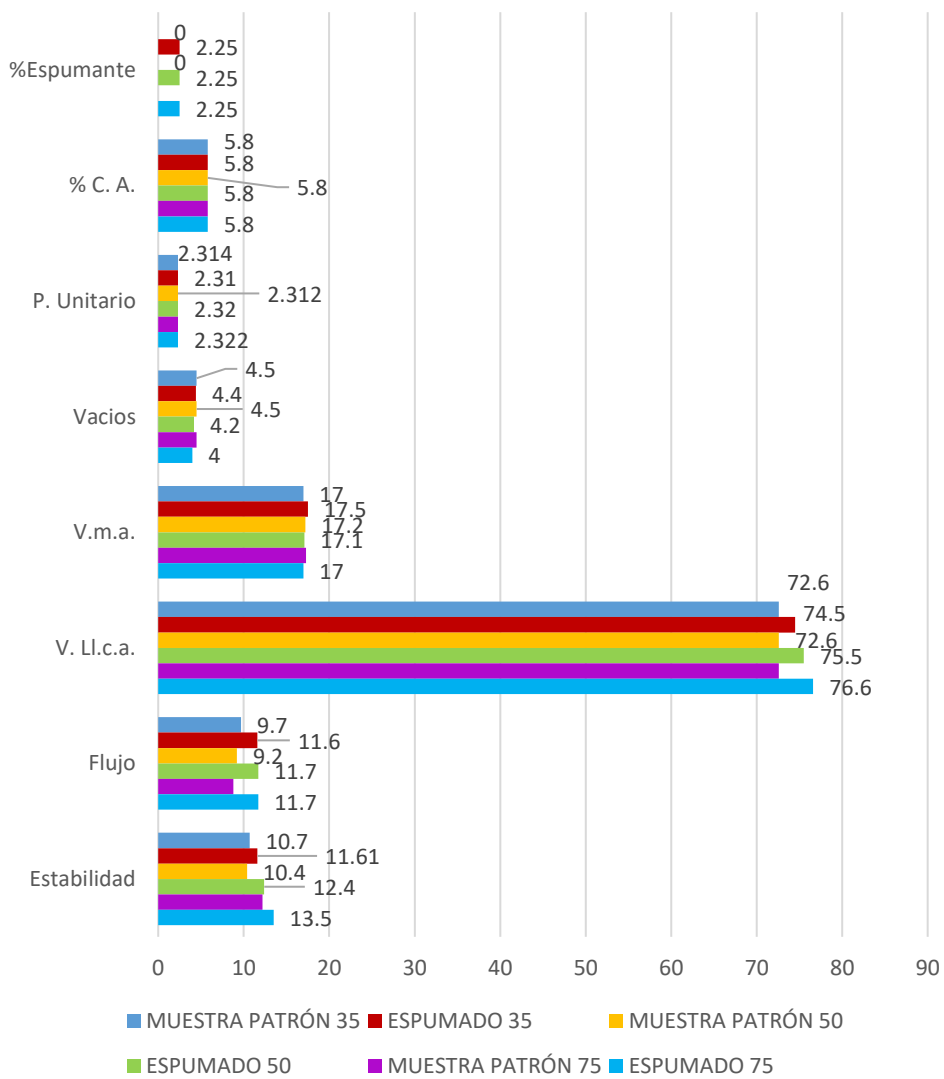


Fig. 19. Características Marshall

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XVII

Tabla XVIII

Análisis granulométrico comparativo del agregado fino, agregado grueso y global.

Malla		58	40	2	100	GRADACIÓN		
		% Que Pasa					MAC - 2	
cPulg.	(mm.)	Agregado Fino	Agregado Grueso	Filler	Combinado			
2"	50.000	100.0	100.0	100.0	100.0			
1 1/2"	37.500	100.0	100.0	100.0	100.0			
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0			100
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	80	-	100
1/2"	12.500	70.1	100.0	100.0	82.7	67	-	85
3/8"	9.500	51.3	100.0	100.0	71.8	60	-	77
Nº 4	4.750	11.4	99.2	100.0	48.3	43	-	54
Nº 8	2.360	0.4	93.9	100.0	39.8			
Nº 10	2.000	0.2	90.8	100.0	38.4	29	-	45
Nº 16	1.180	0.2	76.8	100.0	32.8			
Nº 20	0.850	0.1	66.7	100.0	28.8			
Nº 30	0.600	0.1	53.9	100.0	23.6			
Nº 40	0.425	0.1	44.6	100.0	19.9	14	-	25
Nº 50	0.300	0.1	34.8	100.0	16.0			
Nº 80	0.180	0.1	25.8	100.0	12.4	8	-	17
Nº100	0.150	0.1	17.7	100.0	9.1			
Nº200	0.075	0.1	9.2	100.0	5.7	4	-	8

Nota. En la Tabla XVIII se puede observar que el porcentaje auxiliar pertenece al intervalo de gradación del AF, AG y agregado global.

Este parámetro selecciona las mallas de 3/4"; 1/2"; 3/8"; Nº4; Nº10; Nº40; Nº80 y Nº200 como resultado de las especificaciones consideradas en el Manual de Diseño de Pavimentos para mezclas asfálticas frías para el método convencional y espumado. Las pruebas permiten conseguir que para cada tipo de método exista una curva granulométrica promedio que este dentro de los límites considerados.

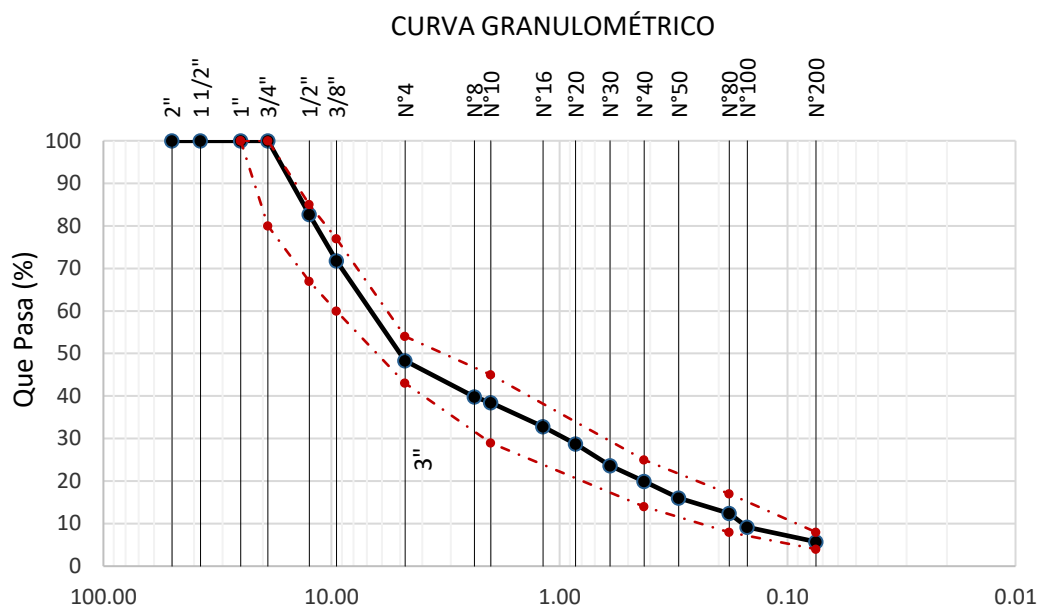


Fig. 20. Análisis granulométrico comparativo del agregado fino, agregado grueso y global
 Nota. De la Fig. 20 se aprecia la curva granulométrica de los AF y AG donde la mezcla que se adecua con los valores determinados se encuentra de color negro, es así que la curva granulométrica está dentro de los valores del intervalo que corresponde al MAC – 2. Además, cumple con el porcentaje mínimo pasante por la malla N°200

Objetivo específico 5: Analizar los resultados de las mezclas de asfalto comparadas en cuanto a su funcionabilidad, estructura y economía de producción

Tabla XIX

Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 75 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón

MUESTRA N°	Espumante	Muestra patrón
1.- Peso del Frasco	581.20	581.20
2.- Peso del Frasco + Agua+ Vidrio	2608.90	2608.90
3.- Diferencia del Peso (04) - (05)	1781.96	1791.26
4.- Peso del Frasco + Muestra + Agua	3781.90	3780.98

5.- Peso Neto de la Muestra	1999.94	1989.72
6.- Agua Desplazada (2) - (3)	826.94	817.64
Peso Específico Máximo de la Muestra (5) / (6)	2.42	2.43
Contenido % C.A.	5.80	5.50
Espumante %	2.25	-

Nota. Los resultados muestran los resultados de la gravedad específica teórica máxima entre los modelos espumante y muestra patrón, esto servirá para determinar los vacíos de aire en la mezcla, así mismo las mezclas de asfalto comparadas de los modelos espumantes y de la muestra patrón pruebas al 75,0% con un contenido % de 5,8% en el modelo espumante y 5,8% en el modelo aplicado de la muestra patrón.

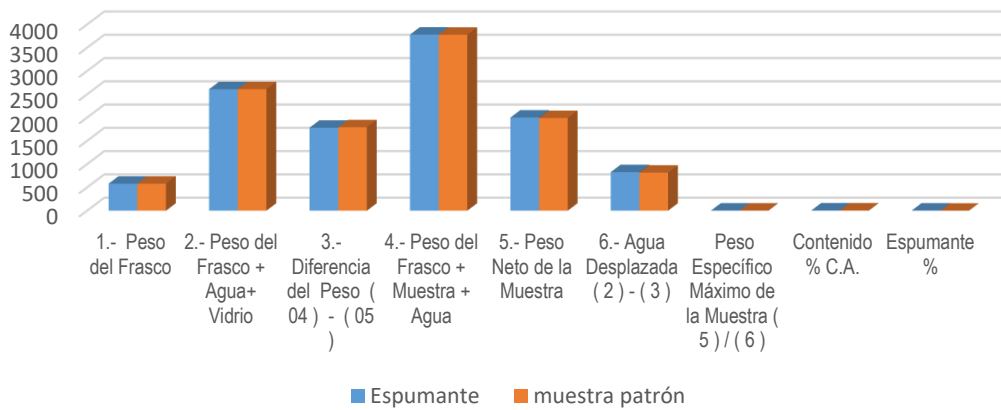


Fig. 21. Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 75 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XIX

Tabla XX

Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 50 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón

MUESTRA N°	Espumante	Muestra patrón
1.- Peso del Frasco	581.20	581.20
2.- Peso del Frasco + Agua+ Vidrio	2608.90	2608.90
3.- Diferencia del Peso (04) - (05)	1781.96	1791.26
4.- Peso del Frasco + Muestra + Agua	3781.90	3780.98
5.- Peso Neto de la Muestra	1999.94	1989.72

6.- Agua Desplazada (2) - (3)	826.94	817.64
Peso Específico Máximo de la Muestra (5) / (6)	2.42	2.43
Contenido % C.A.	5.80	5.50
Espumante %	2.25	-

Nota. Los resultados muestran los resultados de la gravedad específica teórica máxima entre los modelos espumante y muestra patrón, esto servirá para determinar los vacíos de aire en la mezcla, así mismo las mezclas de asfalto comparadas de los modelos espumantes y de la muestra patrón pruebas al 50,0% con un contenido % de 5,8% en el modelo espumante y 5,8% en el modelo aplicado de la muestra patrón.

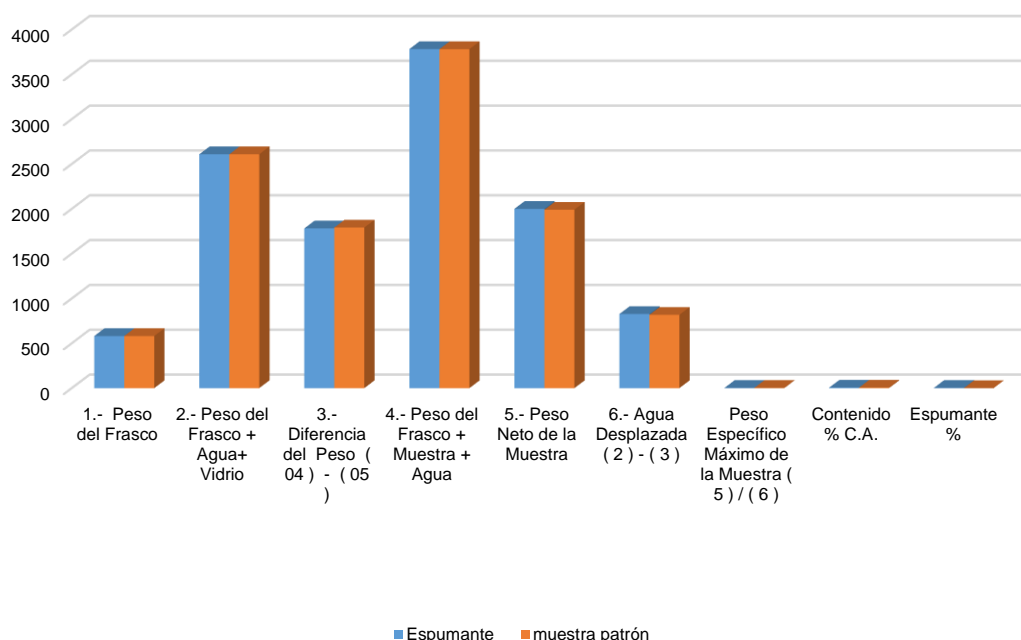


Fig. 22. Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 50 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón

Nota. Se toma los resultados de la Tabla XX

Tabla XXI

Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 35 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón

MUESTRA N°	Espumante	Muestra patrón
1.- Peso del Frasco	581.20	581.20
2.- Peso del Frasco + Agua+ Vidrio	2608.90	2608.90
3.- Diferencia del Peso (04) - (05)	1781.96	1791.26
4.- Peso del Frasco + Muestra + Agua	3781.90	3780.98
5.- Peso Neto de la Muestra	1999.94	1989.72
6.- Agua Desplazada (2) - (3)	826.94	817.64
Peso Específico Máximo de la Muestra (5) / (6)	2.42	2.43
Contenido % C.A.	5.80	5.50
Espumante %	2.25	-

Nota. Los resultados muestran los resultados de la gravedad específica teórica máxima entre los modelos espumante y muestra patrón, esto servirá para determinar los vacíos de aire en la mezcla, así mismo las mezclas de asfalto comparadas de los modelos espumantes y de la muestra patrón pruebas al 35,0% con un contenido % de 5,8% en el modelo espumante y 5,8% en el modelo aplicado de la muestra patrón.

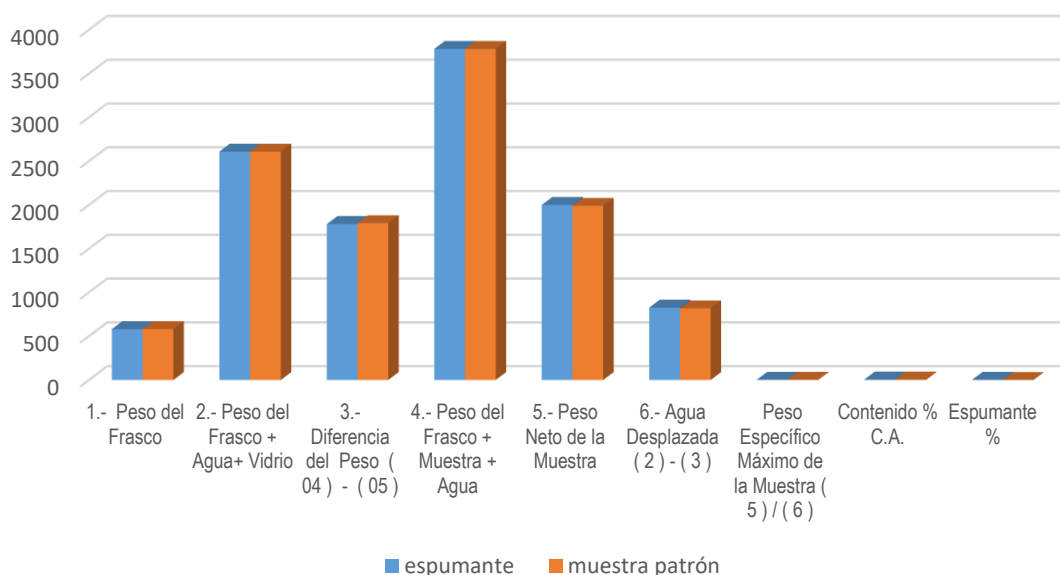


Fig. 23. Comparación de gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) a 35 golpes entre el modelo espumante y la muestra patrón

Nota. De la Fig. 23 se observa que la mezcla asfáltica en caliente que fue sometida a

temperaturas bajas cumpliendo con todos los parámetros establecidos por el manual de carreteras EG-2013, AASHTO T 283 y el instituto del asfalto, por lo que se puede colocar una mezcla asfáltica en caliente bajo estas condiciones. Asimismo, el diseño de las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta el método espumado y convencional, se adecua a todos los parámetros establecidos por el manual de carreteras EG-2013, destacando que, la mejor estabilidad que presenta la muestra patrón se encuentra en el golpe 75 con un valor de 12,2 mientras que en el método espumado la mejor estabilidad se presentó en el golpe 75 con 13,5. Del mismo modo, los agregados finos y gruesos, que han sido estudiados en laboratorio, cumplen los requisitos solicitados en la norma para producción de asfaltos en climas fríos, por lo que, debido a sus buenos resultados; frente a la resistencia al desgaste (abrasión:11.96%), además de la resistencia a los agentes químicos (sulfatos), cantidad de fino y presencia de material orgánico es óptimo para que puedan ser aplicado en el diseño de mezclas asfálticas.

3.2. Discusión

En el presente acápite se desarrollará la discusión que se elabora a partir de la obtención de los resultados; por tanto, se procederá a triangular la información (antecedentes, teorías y resultados). Asimismo, se evidenciará acorde a los objetivos planteados en el presente estudio de investigación:

En el objetivo: **Realizar un estudio de canteras de los agregados a utilizar, caracterizando sus propiedades físicas**, se obtuvo que, los ensayos granulométricos, los agregados fino y grueso cumple con los valores establecidos, tal y como se evidenció en la Figura 3, es así como la curva granulométrica está dentro de los valores del intervalo que corresponde al MAC – 2. En otras palabras, los valores obtenidos cumplieron con el porcentaje mínimo pasante por la malla N°200. Por el contrario, Buczyński & Iwański en su investigación no obtuvieron resultados, puesto que encontraron que las mezclas asfálticas fueron elaboradas incorrectamente, ya sea por las malas propiedades físicas de los agregados, dado que generaron la aparición de grietas por contracción en la capa base. Al

mismo tiempo, el mal comportamiento físico y la insuficiente adición de cemento en la elaboración de mezclas conllevo a la reducción de la resistencia a la tracción indirecta y, por lo tanto, acortó la vida útil del pavimento [11].

Luego, en el objetivo: **Elaborar diseños de mezcla asfáltica caliente por el método convencional**, se obtuvo que, la mezcla cumple con los valores establecidos tal como se observa en la Figura 4, destacando de esta manera que los valores del intervalo corresponden al MAC – 2. Además, cumple con el porcentaje mínimo pasante por la malla N°10 y se mantiene constante en todas las mallas restantes. Por otro lado, en la Tabla 3 se pudo evidenciar que el porcentaje pasante pertenece al intervalo de gradación del agregado grueso. Este parámetro seleccionó las mallas de 1/2"; 3/8"; N°4; N°8; N°10 como resultado de las especificaciones consideradas en el Manual de Diseño de Pavimentos para mezclas asfálticas en caliente aplicando agregado grueso para el método convencional. Así como Gonzales al comparar las HMA convencional, con el AE evidenció que, con respecto al ensayo Marshall, el AE presento un incremento en la estabilidad; de 1081.15kg frente a 1018.80kg del HMA convencional; y en gran medida es por la calidad de los agregados. Asimismo, en este caso, la FWMA tiene mayor trabajabilidad, por lo que sería recomendable que las empresas inviertan en prestar mayor atención para el proceso de producción al elaborar WMA [37].

Posteriormente, en el objetivo: **Elaborar diseños de mezcla asfáltica caliente por el método espumado**, se obtuvo que, la mezcla alcanza valores que están dentro de los rangos permitidos, tal y como se puede observar en la Figura 4; asimismo, cumple con el porcentaje mínimo pasante por la malla N°10 y se mantiene constante en todas las mallas restantes. De otro modo, acorde a los ensayos efectuados se observó que en la Tabla 4 el porcentaje pasante pertenece al intervalo de gradación del agregado fino. Este parámetro seleccionó las mallas N°16; N°20; N°30; N°40; N°50; N°80; N°100 y N°200 como resultado de las especificaciones consideradas en el Manual de Diseño de Pavimentos para mezclas asfálticas en caliente aplicando agregado fino para el método espumado. Así como, Xiao et al. al estudiar el efecto que origina en los diseños de mezcla asfálticas utilizando el método

espumado encontró que la fuente de agregados afectó significativamente la resistencia a la tracción indirecta (ITS) y la temperatura de compactación y contenido de humedad de los agregados. Además, los valores de la ITS de las mezclas espumadas que contenían agregados inadecuados aumentaron a medida que aumentaba la temperatura de compactación. Se destacó que temperatura de compactación por debajo de 102°C (215°F) generalmente no tuvo efectos de envejecimiento notables en las mezclas asfálticas [32]. A diferencia de Pani et al. en su investigación encontró, que el daño por humedad en las mezclas asfálticas es una función del tipo de agregado y del aglomerante asfáltico base; puesto que en este caso, un aditivo químico mostró una mayor resistencia a la humedad en comparación con otras tecnologías; demostrando así que las tecnologías basadas en espuma muestran poca resistencia contra el daño por humedad, mientras que la inclusión de aditivos químicos y orgánicos mejora la resistencia a la humedad de la mezcla asfáltica [26].

Seguidamente, en el objetivo: **Comparar las propiedades físicas/mecánicas de las mezclas asfálticas por el método convencional y espumado en estado fresco y endurecido, mediante reglamentación MTC**, se encontró que, los valores porcentuales en cuanto al equivalente de arena (70,0%) y angularidad del agregado fino es mayor que los requerimientos. Además, el índice de plasticidad para la malla N°200 es de 2.09 mientras que en la determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de Sulfato de Sodio o sulfato de magnesio es 6,54% es menor al requerido; lo mismo que las sales solubles totales con 0,29% con una absorción del 58,0%. Concernientemente, para el requerimiento del AG se observó que los valores porcentuales son mayores que los requeridos esto es, la determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio 5,33%; método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles 11,96%; partículas chatas y alargadas en el agregado grueso 2,84%; Sales solubles totales 0,28% y absorción 0,7618%. Mientras que para las caras fracturadas 78,9% es mayor que el requerido. No obstante, Xia et al. en su investigación evidenció que el contenido óptimo de agente espumante mineral ZQ era del 7%; al mismo tiempo, el

consumo de agua para la espumación mecánica del asfalto modificado con SBS se fijó en $3,0\pm 0,2\%$, la temperatura del asfalto se fijó en $165\pm 2^{\circ}\text{C}$ y la temperatura del agua en $30\pm 2^{\circ}\text{C}$; demostrando que, la mezcla asfáltica espumada puede reducirse aproximadamente 25°C en comparación con la mezcla asfáltica mezclada en caliente, y el rendimiento de la mezcla puede cumplir los requisitos de la especificación actual [22].

Para finalizar, en el objetivo: **Analizar los resultados de las mezclas de asfalto comparadas en cuanto a su funcionabilidad, estructura y economía de producción**, se obtuvo que, en cuanto a las características Marshall aplicado a los golpes 35; 50 y 75 los valores observados en el caso de %C. A se mantiene constante en ambos casos y en todas las pruebas. En cuanto a P. unitario se observa en el golpe 35 para la muestra patrón obtiene un máximo de 2.314 mientras que el máximo valor para el método espumado está en el golpe 75 con un valor de 2.322. En cuanto a los vacíos la muestra patrón es constante en todas las pruebas, sin embargo, el método espumado tiene un máximo valor en el golpe 35 con 4,4. Asimismo, la mejor estabilidad que presenta la muestra patrón se encuentra en el golpe 75 con un valor de 12,2 mientras que en el método espumado la mejor estabilidad se presentó en el golpe 75 con 13,5, tal y como se puede observar en la Tabla 10. Entre tanto, respecto a la funcionalidad de las mezclas asfálticas Liu et al. afirman que los estados de formación de espuma para el asfalto de mezcla base y el asfalto SBS modificado logran estabilidad después de 6 min y 15 min, respectivamente; sin embargo, cuando se produce humedad residual, este comportamiento agrava la falla de adhesión y causa daño por humedad debido a la participación de agua externa [18].

De otro modo, respecto a la estructura Rosli & You, en su investigación mostraron que, las propiedades de los aglutinantes espumados con etanol y las mezclas de WMA producidas mediante ambos métodos son significativamente comparables, excepto el resultado de la prueba de resistencia al daño por humedad; al mismo tiempo, los hallazgos indican que las mezclas de WMA espumadas con etanol preparadas con ambas técnicas tienen una buena resistencia al daño por humedad, según valores de TSR superiores a 0,8. Las mezclas de WMA espumado también exhibieron una mejor resistencia al agrietamiento, como lo indica

una mayor resistencia a la tracción en comparación con el control HMA. Además, la muestra de WMA preparada a 100 °C fue menos susceptible a la formación de surcos que las muestras producidas a 80 °C [19]. Finalmente, con respecto a la economía de producción, Gonzales en su investigación encontró el presupuesto de producción de asfalto en caliente es de S/. 785,540.16; mientras que la producción de asfalto espumado es de S/. 663,126.96, dejando en evidencia que, el asfalto espumado es más económico, porque en la producción misma del asfalto existe un ahorro importante de consumo de energía porque la mezcla se calienta a 132°C, mientras que el asfalto caliente convencional se calienta a 150°C; asimismo, la tecnología del asfalto espumado resulta ser beneficioso en la industria de la ingeniería debido a sus propiedades mecánicas, trabajabilidad, y sobre todo amigable al medio ambiente [37].

Para finalizar, respecto **a la aplicación de diseño de mezclas asfálticas en climas fríos** se puede argumentar que, es posible colocar CMA a temperaturas bajo 0°C cumpliendo los estándares de los diseños convencionales por lo que puede mejorar las operaciones, a pesar de que en el manual de carreteras EG-2013 hay restricciones donde nos dice que la temperatura mínima de colocación es a 6°C en ascenso. Al mismo tiempo, según, Al-Khafaji et al. & Al Nageim et al. afirman que la aplicación de CMA puede requerir entre 2 y 24 meses de tiempo de curado para alcanzar la resistencia final deseada, según el clima tipo de clima, además del hecho de que el CMA típico con el relleno de piedra caliza es susceptible al daño por agua de lluvia en las primeras etapas de vida [57, 58].

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Para el análisis comparativo en el diseño de mezclas asfálticas en climas fríos de la Región Lambayeque, se concluye que:

Los agregados finos y gruesos, que han sido estudiados en laboratorio, plasman los requisitos solicitados en la norma para producción de asfaltos, debido a sus excelentes resultados; frente a la firmeza que tiene ante el desgaste (abrasión:11.96%). Adicional de la resistencia a los agentes químicos (sulfatos), cantidad de fino y presencia de material orgánico.

Asimismo, los agregados de la cantera empleados para el presente estudio cumplen en lo que respecta al ensayo de absorción; puesto que en el análisis de control de calidad para el requerimiento del agregado fino se observa que los valores porcentuales en cuanto al equivalente de arena (70,0%) y angularidad del agregado fino es mayor que los requerimientos.

Además, en la determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de Sulfato de Sodio o sulfato de magnesio es 6,54% es menor al requerido; lo mismo que las sales solubles totales con 0,29% con una absorción del 58,0%. Luego, respecto a los agregados gruesos se concluye, que las partículas chatas y alargadas en el AG fue de 2,84%; sales solubles totales de 0,28% y absorción 0,7618%. Mientras que para las caras fracturadas 78,9% es mayor que el requerido.

Luego, el diseño de mezclas se concluye que, debe ser medido de tal manera que las proporciones de los materiales no sobrepasen lo permitido; ya que si la mezcla presenta exceso de material que pasa la malla N^o 200 esta presentara segregaciones, si presenta mucha grava, la mezcla se vuelve seca y difícil de compactar, por el contrario, si tiene demasiada arena, la mezcla presentaría problemas en la estabilidad.

Finalmente, con respecto a los costos de producción se concluye que, el asfalto espumado es más económico, porque en la producción misma del asfalto existe un ahorro importante de consumo de energía (25Kw/Ton), ya que como se evidenció en el estudio y en

ayuda de las investigaciones base se corroboró y demostró que la mezcla se calienta a 132°C, mientras que el asfalto caliente convencional se calienta a 150°C; demostrando así ahorros de energía con respecto a los procedimientos mencionados.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda difundir el nuevo método en base al asfalto espumado, puesto que ha demostrado ser bondadoso con respecto a sus propiedades físico-mecánicas, sin dejar de lado que permitió reducir energía y fue amigable con el medio ambiente a comparación de otros asfaltos. Todo lo expuesto permitiría que las empresas tengan mayor aprovechamiento en su productividad.

Que las plantas que elaboran asfalto tengan un conocimiento claro del de los problemas ambientales que se pueden originar, puesto que de esta manera se podrá evidenciar que tan perjudicial es la producción de este tipo de mezclas, ya que son agentes contaminadores. A su vez, tener un conocimiento más claro permitiría mitigar este problema, por lo que una solución es producir asfalto espumado, ya que forma menor impacto ambiental.

Es necesario propagar la aplicación de la mezcla asfáltica, asfalto espumado; dado que garantizaría mayor vida útil, menores costes y resultaría ser amigable con el medio ambiente. Asimismo, se ha evidenciado que emplear HMA tiene una vida útil de 15 a 20 años, y cuando se emplean CMA tienen una duración de 3 a 4 años.

Finalmente, se recomienda el uso de este método, en toda la región del país (costa, sierra y selva), porque se evidenció en el proyecto de estudio no requiere de especialidad en cuestión de mano de obra, obteniendo resultados positivos.

V. REFERENCIAS

- [1] Z. Liu, L. Sun, J. Zhai and W. Huang, "A review of design methods for cold in-place recycling asphalt mixtures: Design processes, key parameters, and evaluation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 37, p. 133530, 2022.
- [2] N. Saboo, M. Sukhija and A. Pani, "Economic and environmental aspects of warm mix asphalt mixtures: A comparative analysis," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 109, p. 103355, 2022.
- [3] I. Androjić, Z. Dolaček, S. Dimter and T. Rukavina, "Analysis of impact of aggregate moisture content on energy demand during the production of hot mix asphalt (HMA)," *Journal of Cleaner Production*, vol. 244, p. 118868, 2020.
- [4] M. Sukhija, V. Pratap and N. Saboo, "Development of workability based approach for assessment of production temperatures of warm mix asphalt mixtures," *Construction and Building Materials*, vol. 305, p. 124808, 2021.
- [5] X. Qin and X. Sun, "Quantitative investigation and decision support of reducing effect of warm mixed asphalt mixture (WMA) on emission and energy consumption in highway construction," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 2, pp. 1-17, 2022.
- [6] W. Guo , X. Guo , Y. Li and W. Dai , "Laboratory Investigation on Physical, Rheological Thermal and Microscopic Characteristics of Water-Foamed Asphalt under Three Environmental Conditions," *Coatings*, vol. 10, no. 3, p. 239, 2020.
- [7] D. Acosta, A. Anadelys and A. Tenza, "Influence of Partial Coarse Fraction Substitution of Natural Aggregate by Recycled Concrete Aggregate in Hot Asphalt Mixtures," *Sustainability*, vol. 12, no. 1, p. 250, 2020.
- [8] K. Kowalski, W. Bańkowski , J. Król , B. Holt, A. Komkova and R. Casado, "Practical Application of Sustainable Road Structure: Mechanical and Environmental Approach," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 23, p. 11914, 2022.

- [9] E. Softić , V. Radičević , M. Subotić , Ž. Stević , Z. Talić and D. Pamučar , "Sustainability of the Optimum Pavement Model of Reclaimed Asphalt from a Used Pavement Structure," *Sustainability*, vol. 12, no. 5, p. 1912, 2020.
- [10] M. Iwański, A. Chomicz and K. Maciejewski, "Resistance to Moisture-Induced Damage of Half-Warm-Mix Asphalt Concrete with Foamed Bitumen," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 3, p. 654, 2020.
- [11] P. Buczyński and M. Iwański, "The Influence of a Polymer Powder on the Properties of a Cold-Recycled Mixture with Foamed Bitumen," *Materials*, vol. 12, no. 24, p. 4244, 2019.
- [12] J. García and R. Inga, "Variacion de las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo Marshall entre las mezclas asfálticas tibias producidas con diferentes tecnologías y las mezclas asfálticas en caliente," Lima, 2020.
- [13] D. Caceres, "Mejoramiento de las propiedades de la mezcla asfáltica incorporando asfalto espumado, Chorrillos-2020," Lima, 2021.
- [14] S. Flores, "Optimización de las propiedades mecánicas y el espumado de mezclas asfálticas semicalientes aplicando distintos tipos de filler, Huancayo 2021," Huancayo, 2021.
- [15] E. Vargas, "Efecto de la temperatura de mezcla-compactación y la distancia de transporte en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente en la región Centro," Huancayo, 2019.
- [16] M. Fernández and O. Paico, "Estudio definitivo de la carretera empalme R36 (Congacha – Marayhuaca) caserío Cueva Blanca, Distrito de Incahuasi, Provincia de Ferreñafe, Departamento de Lambayeque," Chiclayo, 2018.
- [17] H. Pérez and G. Vergel, "Diseño de infraestructura vial para mejorar el nivel de servicio de la carretera de Incahuasi – CP. La Tranca (16+00km), Ferreñafe," Chiclayo, 2019.

- [18] S. Liu, S. Zhou and A. Peng, "Analysis of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt based on cohesion, adhesion, bond strength, and morphology," *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, p. 123334, 2020.
- [19] M. Rosli and Z. You, "Comparative study of ethanol foamed asphalt binders and mixtures prepared via manual injection and laboratory foaming device," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 6, no. 4, pp. 383-395, 2019.
- [20] Gao, Kaikai, F. Chen, H. Kuai, Z. Yang, Y. Si and Z. Huo, "Laboratory experimental research on foamed warm mix asphalt mixture road property," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 774, 2020.
- [21] C. Zhou, H. Ren, J. Ouyang and S. Yan, "Research of indoor molding of cold recycled foamed asphalt mixture with secondary hot compaction process considered," *Construction and Building Materials*, vol. 326, p. 126886, 2022.
- [22] J. Xia, Z. Dong, F. Yang and Q. Xia, "Study on Preparation and Performance Evaluation of Environment-Friendly Asphalt Mixture," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 514, p. 052031, 2020.
- [23] J. Hu, T. Ma , T. Yin and Y. Zhou, "Foamed warm mix asphalt mixture containing crumb rubber: Foaming optimization and performance evaluation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 333, p. 130085, 2022.
- [24] A. Kavussi and S. Mohsen, "Fracture and mechanical properties of water-based foam warm mix asphalt containing reclaimed asphalt pavement," *Construction and Building Materials*, vol. 269, p. 121332, 2021.
- [25] D. Wang, S. Zhang, F. Guo, Y. Deng, F. Feng, Q. Wu, Z. Chen and Y. Li, "Properties investigation of the SBS modified asphalt with a compound warm mix asphalt (WMA) fashion using the chemical additive and foaming procedure," *Journal of Cleaner Production*, vol. 319, p. 128789, 2021.

- [26] A. Pani, M. Sukhija and N. Saboo, "Effect of warm mix asphalt (WMA) technologies on the moisture resistance of asphalt mixtures," *Construction and Building Materials*, vol. 369, p. 130589, 2023.
- [27] B. Li, N. Li, X. Yu, J. Xie, H. Zhan, J. Ding and H. Ma, "Evaluation of the field-aged performance of foamed warm mix asphalt: Comparisons with hot mix asphalt," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, p. e01750, 2023.
- [28] D. Offenbacher, A. Saidi, A. Ali, Y. Mehta, C. Decarlo and W. Lein, "Economic and Environmental Cost Analysis of Cold In-Place Recycling," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 33, no. 3, p. 04020496, 2021.
- [29] F. García, H. Delgado and D. Campos, "Influencia de variables de diseño en las propiedades mecánicas de una base estabilizada con asfalto espumado," *Infraestructura Vial*, vol. 20, no. 35, pp. 5-11, 2019.
- [30] J. Myung, K. Sungun and S. Junan, "Laboratory evaluation of foamed asphalt mixtures with 100% RAP and rejuvenator.," *Australian Journal of Civil Engineering.*, vol. 19, no. 1, pp. 46-57, 2021.
- [31] L. Skotnicki, J. Kuźniewski and A. Szydło, "Stiffness Identification of Foamed Asphalt Mixtures with Cement, Evaluated in Laboratory and In Situ in Road Pavements.," *Materials (1996-1944)*, vol. 13, no. 5, p. 1128, 2020.
- [32] F. Xiao, V. Punith and B. Putman, "Effect of Compaction Temperature on Rutting and Moisture Resistance of Foamed Warm-Mix-Asphalt Mixtures.," *Journal of Materials in Civil Engineering.*, vol. 25, no. 9, pp. 1344-1352, 2019.
- [33] M. Bitolog, M. Bouraima, X. Zhang, C. M. Ndjegwes and Y. Qiu, "Effect of Temperature and Asphalt Binder Type on the Properties of Foamed Asphalt Mix," *MATEC Web of Conferences*, vol. 206, no. 1, p. 02015, 2018.
- [34] J. Ccoyllo, "Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima," Lima, 2019.

- [35] D. Cáceres, "Mejoramiento de las propiedades de la mezcla asfáltica incorporando asfalto espumado, Chorrillos-2020," Lima, 2021.
- [36] P. Narro and E. Morales, "Contribución del asfalto espumado en el aporte estructural de pavimentos en altura como solución para el proyecto de conservación vial Tacna – Puno, tramo Capazo - Mazocruz," Lima, 2018.
- [37] M. Gonzales, "Propuesta para la Mejora de los Pavimentos Asfálticos Utilizando el Metodo del Asfalto Espumado," Arequipa, 2017.
- [38] H. Abad, "Análisis comparativo del reciclado con asfalto espumado y la técnica convencional en la conservación periódica de la carretera conochocha Huaraz 2010-2011," Huaraz, 2017.
- [39] S. Oleiwi, N. Abdul, R. Putra, E. Aminudin, M. Hannif, A. Mohamed and A. Abdulameer, "Thermal performance of cooling strategies for asphalt pavement: A state-of-the-art review," *Journal of traffic and transportation engineering*, pp. 356-373, 2021.
- [40] X. Zhang, H. Chen, D. Barbieri, B. Lou and I. Hoff, "The classification and reutilisation of recycled asphalt pavement binder: Norwegian case study," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, p. e01491, 2022.
- [41] A. Shtayat, S. Moridpour and B. Best, "Using e-bikes and private cars in dynamic road pavement monitoring," *International Journal of Transportation Science and Technology*, pp. 1-12, 2020.
- [42] S. Al-Merzah, S. Al-Busaltan and H. Al Nageim, "Characterizing cold bituminous emulsion mixtures comprised of palm leaf ash," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 31, no. 6, 2019.
- [43] C. Wang, S. Huang, Q. Chen, X. Ji and K. Duan, "Materials, preparation, performances and mechanism of polyurethane modified asphalt and its mixture: A systematic review," *Journal of Road Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 16-34, 2023.

- [44] J. Chen, H. Wang and X. Pengyu, "Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors," *Applied Thermal Engineering*, pp. 1-14, 2019.
- [45] L. Sun, "Distribution of the temperature field in a pavement structure," *Structural Behavior of Asphalt Pavements*, pp. 61-177, 2018.
- [46] J. Tang, Y. Fu, T. Ma, B. Zheng and Y. Zhang, "Investigation on low-temperature cracking characteristics of asphalt mixtures: A virtual thermal stress restrained specimen test approach," *Construction and Building Materials*, vol. 347, p. 128541, 2022.
- [47] Banting and Zhang, "Rutting treatment of the hot in-place recycling technology," *Research and Application of Hot In-Place Recycling Technology for Asphalt Pavement*, pp. 157-215, 2021.
- [48] V. Janampa, Artist, Estudio de suelos con fines de pavimentación de la vía de evitamiento de la ciudad de Tocache. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2019.
- [49] Sze and Zhang, "Adaptability and key concepts of the hot in-place recycling technology," *Research and Application of Hot In-Place Recycling Technology for Asphalt Pavement*, pp. 13-50, 2021.
- [50] M. Amoori, S. Al-Busaltan, A. Dulaimi, M. Sadique, H. Al Nageim, M. Al-Kafaji and R. Al-Yasari, "Developing a sustainable, post treated, half warm mix asphalt for structural surface layer," *Construction and Building Materials*, vol. 342, no. A, p. 127926, 2022.
- [51] H. Kamil, A. Dulaimi, T. Al-Mansoori , S. Al-Busaltan, M. Herez, M. Sadique and T. Abdel, "The future of eco-friendly cold mix asphalt," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 149, p. 111318, 2021.
- [52] P. Deb and K. Lakshman, "Mix design, durability and strength enhancement of cold mix asphalt: a state-of-the-art review," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 7, no. 61, 2022.
- [53] A. Dulaimi, S. Al-Busaltan , M. Amoori, R. Al-Khafaji , M. Sadique, H. Al Nageim, R.

- Khalid, J. Awrejcewicz, W. Pawłowski and J. Mahdi , "A sustainable cold mix asphalt mixture comprising paper sludge ash and cement kiln dust," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 10253, 2022.
- [54] S. Siddha, A. Chandrappa and U. Chandra, "Design and performance of cold mix asphalt – a review," *Construction and Building Materials*, vol. 315, p. 125687, 2022.
- [55] S. Jain and B. Singh, "Cold mix asphalt: An overview," *Journal of Cleaner Production*, vol. 280, no. 2, p. 124378, 2021.
- [56] A. Raj, M. Sivakumar and M. Anjaneyulu, "Investigation of curing and strength characteristics of cold-mix asphalt with rice husk ash–activated fillers," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 148, no. 4, p. 04022056, 2022.
- [57] R. Al-Khafaji, M. Sadique, H. Al Nageim , R. Khalid, J. Awrejcewicz , W. Pawłowski and J. Mahdi , "A sustainable cold mix asphalt mixture comprising paper sludge ash and cement kiln dust," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 10253, 2022.
- [58] H. Al Nageim, A. Dulaimi, S. Al-Busaltan, M. Amoori, A. Al-Khuzai, L. Seton, J. Croft and J. Drake, "The development of an eco-friendly cold mix asphalt using wastewater sludge ash," *Journal of Environmental Management*, vol. 329, p. 117015, 2023.
- [59] A. Hung y L. S. O. Li, «Evaluation of permeable highway pavements via an integrated life-cycle model,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-11, 2021.
- [60] A. Kia, J. Delens, H. Wong and C. Cheeseman, "Structural and hydrological design of permeable concrete pavements," *Case Studies in Construction Materials*, pp. 1-22, 2021.
- [61] R. Zhao, W. Zhu and S. Zhang, "The effect of graphene nanoplatelets on chloride binding and chloride migration in cement paste," *Journal of Testing and Evaluation*, pp. 50-55, 2021.
- [62] H. Majidifard, Y. Adu and W. Buttlar, "Deep machine learning approach to develop a new asphalt pavement condition index," *Construction and Building Materials*, p. 247,

2020.

- [63] X. Chu, A. Dawson, J. Zhang, N. Thom and C. Guo, "Sensitivity analysis of pavement response to subgrade moisture variations," *Journal of Building Engineering*, vol. 69, p. 106285, 2023.
- [64] B. Anupam, U. Chandra, A. Chandrappa and P. Rath, "Emerging technologies in cool pavements: a review," *Construction and Building Materials*, vol. 299, p. 123892, 2021.
- [65] J. E. O. J. Chen, H. Dan, Y. Ding, Y. Gao, M. Guo, S. Guo, B. Han and B. Hong, "New innovations in pavement materials and engineering: A review on pavement engineering research 2021," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 8, no. 6, pp. 815-999, 2021.
- [66] R. Hernandez, C. Fernandez and M. Baptista, *Metodologia de la investigacion*, Mexico D.F: MC Graw Hill Education, 2019, p. 634.
- [67] CIP, «Código Deontológico,» Colegio de Ingenieros del Perú, 2019. [En línea]. Available:
http://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo_de_etica_del_cip.pdf.

VI. ANEXOS

ANEXO I: Resolución de aprobación de tema tesis.



UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

RESOLUCIÓN N°2423-2020/FIAU-USS

Pimentel, 31 de diciembre de 2020

VISTO:

El Acta de reunión N° 033-CIIC-2020 del Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL remitida mediante Oficio N° 0383-2020/FIAU-IC-USS de fecha 8 de diciembre de 2020, y;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con la Ley Universitaria N° 30220 en su artículo 48° que a letra dice: "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional, creadas por las instituciones universitarias públicas o privadas.";

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 21° señala: "Los temas de trabajo de investigación, trabajo académico y tesis son aprobados por el Comité de Investigación y derivados a la Facultad o Escuela de Posgrado, según corresponda, para la emisión de la resolución respectiva. El periodo de vigencia de los mismos será de dos años, a partir de su aprobación. En caso un tema perdiera vigencia, el Comité de Investigación evaluará la ampliación de la misma.

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 24° señala: La tesis es un estudio que debe denotar rigurosidad metodológica, originalidad, relevancia social, utilidad teórica y/o práctica en el ámbito de la escuela profesional. Para el grado de doctor se requiere una tesis de máxima rigurosidad académica y de carácter original. Es individual para la obtención de un grado; es individual o en pares para obtener un título profesional. Asimismo, en su artículo 25° señala: "El tema debe responder a alguna de las líneas de investigación institucionales de la USS S.A.C."

Que, según documentos de Vistos el Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL acuerda aprobar los temas de las Tesis a cargo de los estudiantes que se detallan en el anexo de la presente Resolución.

Estando a lo expuesto, y en uso de las atribuciones conferidas y de conformidad con las normas y reglamentos vigentes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: APROBAR, el tema de la Tesis perteneciente a la línea de investigación de INFRAESTRUCTURA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, a cargo de los estudiantes del Programa de estudios de INGENIERÍA CIVIL según se detalla en el anexo de la presente Resolución.

ARTÍCULO 2°: ESTABLECER, que la inscripción del Tema de la Tesis se realice a partir de emitida la presente resolución y tendrá una vigencia de dos (02) años.

ARTÍCULO 3°: DEJAR SIN EFECTO, toda Resolución emitida por la Facultad que se oponga a la presente Resolución.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



USS
Dr. Moisés Fernando Ramos Morcel
Decano - Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Urbanismo
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.



USS
MSc. María Emilia Rieder Rivera
Secretaría Académica / Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Urbanismo
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	TEMA DE TESIS
22	MONTENEGRO GONZALES FREDDY	CURADO DE CONCRETO CON CERAMICA TRITURADA
23	OLIVERA PEREZ YAMALIT ITAMAR	CARACTERIZACIÓN HIDROMECAÁNICA DE UN CONCRETO ADICIONANDO FIBRAS DE PLÁTANO
24	PACHERRES SANCHEZ CRISTIAN FABIAN	CARACTERIZACION FISICO MECANICA DE UNA MEZCLA ASFALTICA INCORPORANDO FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (FBCA) CON CAUCHO TRITURADO
25	PERALTA PANTA JORGE KENY	REEMPLAZO DE CEMENTO POR MICROSILICE PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO
26	PINEDO CHICCHON MARCK ANTHONY	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRIOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE
27	RAMIREZ SILVA DIANA MARELINE	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ Y POLIETILENO(PET) PARA LA SUBRASANTE DEL CAMINO VECINAL EN CAYALTI
28	SAMAME GUERRERO JESUS ANTONIO	MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DEL ADOBE UTILIZANDO BAGAZO DE CAÑA EN EL DISTRITO DE TUMÁN, LAMBAYEQUE
29	SURCO BOCANEGRA YELENY FIORELLA	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSION ASFÁLTICA Y POLÍMERO CON FINES EN CARRETERA NO PAVIMENTADA
30	TEJADA BRISO NICOLAI ALVIN	DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFALTICA ECOLOGICA USANDO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) RECICLADO Y CAUCHO MOLIDO
31	VALLEJOS MEDIANERO JOICIE ELIZABETH	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) Y CAL EN VÍA NO PAVIMENTADA, ZAÑA, LAMBAYEQUE
32	VEGA BRAVO GRECYA CAROLYN	ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA UN DISEÑO SISMORRESISTENTE ENTRE LOS SISTEMAS DUAL Y ALBANILERIA CONFINADA DE LA I.E.S. "CHONGOYAPE"
33	CABRERA ROCHA OSCAR ALIN	INFLUENCIA DE UN INCORPORADOR DE ADHERENCIA PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA, CON ELÁSTOMERO Y PLASTÓMERO RECICLADOS, LAMBAYEQUE 2020
34	CARUAJULCA GONZALES ALEX JHANN CARLOS	CARACTERIZACIÓN HIDROMECAÁNICA DE UN SUELO CONSIDERANDO EL CORTE DIRECTO, CON FINES DE CIMENTACIONES PROFUNDAS
35	CASTILLO PISCOYA GUSTAVO EDUARDO	SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO
36	CHAVARRY KOOSI JULIO CESAR	EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO AGREGANDO CANTIDADES PORCENTUALES DE LIMADURAS DE ACERO
37	CORONEL SANCHEZ YAN CARLOS	DESEMPEÑO DE BLOQUES ECOLÓGICOS ADICIONANDO CEMENTO Y CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ
38	DAVILA GAMONAL CLARA MERCEDES	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL, INCORPORANDO PARCIALMENTE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) COMO AGREGADO FINO
39	DIAZ SANCHEZ DIEGO MAURICIO	DESEMPEÑO DE ADOQUINES CON AGREGADOS RECICLADOS DE RCD USANDO EL FCSR PARA TRANSITO LIVIANO
40	FERNANDEZ GALVEZ SLATER	CARACTERIZACIÓN HIDROMECAÁNICA DE UN SUELO CONSIDERANDO EL CORTE DIRECTO, CON FINES DE CIMENTACIONES PROFUNDAS
41	GAMARRA CAPUÑAY EDINSON ENRIQUE	CARACTERIZACION MECANICA DE ADOQUINES DE CONCRETO TIPO I, ADICIONANDO CONCHA DE ABANICO TRITURADA
42	GRANDA LALANGUI ALEX	DESEMPEÑO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO AGREGADOS RECICLADOS CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO
43	HERNANDEZ OLIVOS IMMER JOEL	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE ADOQUINES USANDO CARTÓN COMO AGREGADO RECICLADO
44	IBAÑEZ ABAD MANUEL	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECANICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO ADICIONANDO FIBRAS DE BAMBU

ANEXO II: Carta de autorización para la recolección de información.

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

CHICLAYO, 15 de JUNIO de 2022

Quien suscribe:

Sr. Wilson Arturo Olaya Aguilar

Representante Legal – Empresa– 20480781334 - LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.

AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE.**

Por el presente, el que suscribe, **Wilson Arturo Olaya Aguilar** representante legal de la empresa **20480781334 - LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.** AUTORIZO al estudiante **Marck Anthony Pinedo Chicchón** identificado con DNI N°**77155353**, estudiante del Programa de Estudios de la **Escuela de Ingeniería Civil-Universidad Señor de Sipán** Y autor del trabajo de investigación denominado **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE** al uso de dicha información que conforma el expediente técnico, así como hojas de memorias, cálculos entre otros como planos para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Atentamente.



LEMS W&C E.I.R.L.
WILSON OLAYA AGUILAR
TTC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Wilson Arturo Olaya Aguilar

DNI N°:41447114

Representante Legal – Empresa– 20480781334 - LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.

ANEXO III: Panel fotográfico.

Obtención de los agregados.





Ensayos físicos de los agregados.



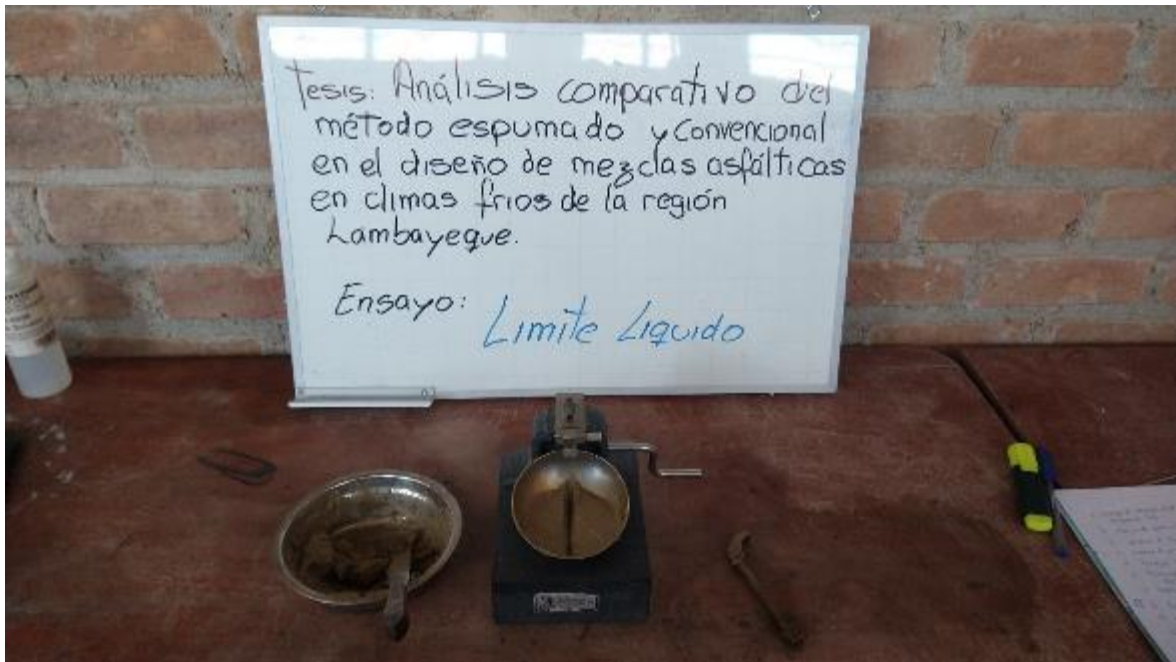
Ensayo de las partículas chatas y alargadas.



Ensayo de durabilidad del sulfato de magnesio.



Ensayo Limite Liquido.



Ensayo del Limite Plástico.



Ensayo Marshall asfalto espumado.

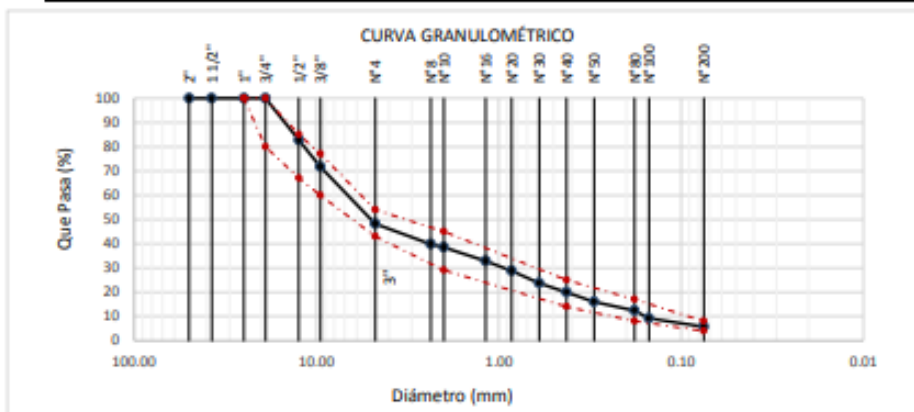


Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022.
 Inicio de ensayo : Lunes, 16 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Martes, 17 de mayo del 2022.

ENSAYO : AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino. Grueso y global.
 NORMA : N.T.P. 400.012

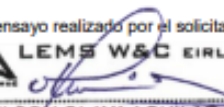
Muestra : Combinado Agregado Fino 58% + Agregado Grueso 40%

Malla		58	40	2	100	GRADACIÓN MAC - 1
Pulg.	(mm.)	% Que Pasa				
		Agregado Fino	Agregado Grueso	Filler	Combinado	
2"	50.000	100.0	100.0	100.0	100.0	
1 1/2"	37.500	100.0	100.0	100.0	100.0	
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	80 - 100
1/2"	12.500	70.1	100.0	100.0	82.7	67 - 85
3/8"	9.500	51.3	100.0	100.0	71.8	60 - 77
Nº 4	4.750	11.4	99.2	100.0	48.3	43 - 54
Nº 8	2.360	0.4	93.9	100.0	39.8	
Nº 10	2.000	0.2	90.8	100.0	38.4	29 - 45
Nº 16	1.180	0.2	76.8	100.0	32.8	
Nº 20	0.850	0.1	66.7	100.0	28.8	
Nº 30	0.600	0.1	53.9	100.0	23.6	
Nº 40	0.425	0.1	44.6	100.0	19.9	14 - 25
Nº 50	0.300	0.1	34.8	100.0	16.0	
Nº 80	0.180	0.1	25.8	100.0	12.4	8 - 17
Nº100	0.150	0.1	17.7	100.0	9.1	
Nº200	0.075	0.1	9.2	100.0	5.7	4 - 8



Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 T.E.C. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1605A-22/LEMS W&C

Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY

Proyecto : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS %	Piedra 40	Arena 58	Filler 2	Total 100	Tamices ASTM																											
					% pasa Material																											
					1"			3/4"			1/2"			3/8"			No 4			No 10			No 40			No 80			No 200			
					100			100			95.6			86.1			65.1			42.2			21.7			13.4			6			
BRIQUETA N°					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	% C.A. en masa de la Mezcla					4.50			5					5.5							6										6.5	
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla					38.20			38.00					37.80								37.60										37.40
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla					55.39			55.10					54.81								54.52										54.23
4	% de escoria de acero					0.00			0.00					0.00								0.00										0.00
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla					1.91			1.90					1.89								1.88										1.87
6	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) g/cc					1.018			1.018					1.018								1.018										1.018
7	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc					2.696			2.696					2.696								2.696										2.696
8	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) g/cc					2.582			2.582					2.582								2.582										2.582
9	peso especifico de la escoria - bulk					2.561			2.561					2.561								2.561										2.561
10	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) g/cc					3.15			3.15					3.15								3.15										3.15
11	Altura promedio de la briquea cm																															
12	Masa de la briquea al aire (gr)				1139	1171	1203	1199	1198	1196	1201	1193	1185	1173	1189	1205	1221	1200	1179													
13	Masa de la briquea al agua por 60' (g)				1140	1172	1204	1200	1198	1196	1201	1194	1186	1173	1189	1205	1221	1200	1179													
14	Masa de la briquea desplazada (g)				635	659	669	670	667	672	679	678	672	669	678	688	695	688	673													
15	Volumen de la briquea por desplazamiento (cc)				505	513	535	530	531	524	522	516	514	504	511	517	526	522	506													
16	Peso especifico Bulk de la Briquea				2.255	2.283	2.249	2.262	2.255	2.282	2.301	2.314	2.305	2.327	2.327	2.331	2.321	2.344	2.330													
17	Peso Especifico Maximo - Rice					2.47			2.45					2.43								2.42										2.41
18	% de Vacios				8.5	7.4	8.8	7.6	7.9	6.8	5.3	4.7	5.1	3.7	3.7	3.6	3.7	2.7	3.3													
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.636			2.636					2.636								2.636										2.636
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.642			2.644					2.642								2.649										2.663
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.1			0.1					0.1								0.2										0.4
22	% de Asfalto Efectivo					4.42			4.90					5.42								5.82										6.14
23	Relación Polvo/Asfalto					0.7			0.8					0.9								1.0										1.0
24	V.M.A.				18.3	17.3	18.5	18.5	18.7	17.7	17.5	17.0	17.4	17.0	17.0	16.9	17.7	16.9	17.4													
25	% Vacios llenos con C.A.				53.5	57.2	52.6	58.9	57.9	61.9	70.0	72.4	70.8	78.2	78.1	78.9	79.2	83.8	80.9													
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				7.1	8.1	9.0	5.2	7.1	9.0	9.7	9.7	9.7	9.0	14.2	5.2	9.0	8.9	8.7													
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				870	995	1520	1152	1298	1324	1087	1081	1075	1022	1201	987	852	744	890													
28	Factor de estabilidad				1.04	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.04	1.00	0.96	1.00	1.00	1.04													
29	Estabilidad Corregida				905	995	1459	1106	1208	1271	1087	1081	1075	1063	1201	987	818	744	925													
30	Estabilidad / Flujo				3238	3133	4102	5443	4322	3574	2853	2837	2822	2989	2149	4857	2300	2130	2698													

OBSERVACIONES

- Muestreo e identificación realizados por el solicitante


LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. EN SERVICIOS DE MATERIALES Y SUELOS


Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICHÓN , MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022

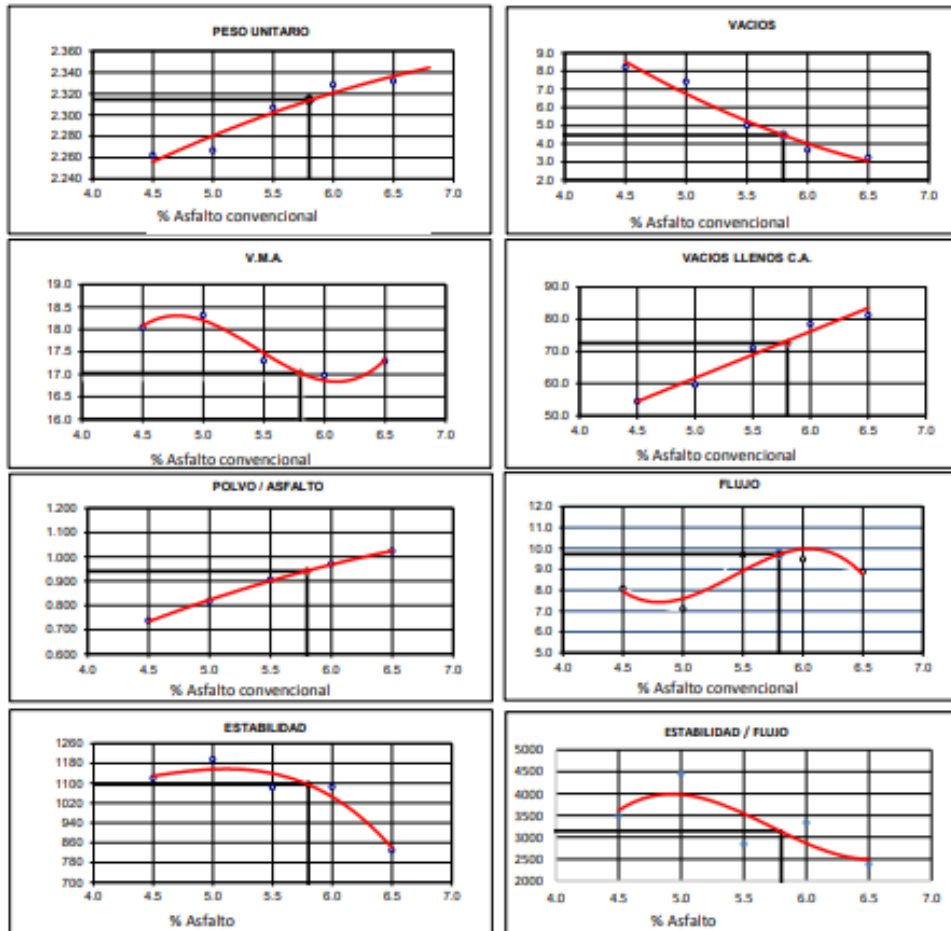
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM						1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
					% pasa Material						100	100	95.6	86.1	65.1	42.2	21.7	13.4	6
%	40	5B	2	100	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
BRIQUETA N°																			
1	% C.A. en masa de la Mezcla					4.50			5			5.5			6			6.5	
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla					38.20			38.00			37.80			37.60			37.40	
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla					55.39			55.10			54.81			54.52			54.23	
4	% de escoria de acero					0.00			0.00			0.00			0.00			0.00	
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla					1.91			1.90			1.89			1.88			1.87	
6	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) g/cc					1.018			1.018			1.018			1.018			1.018	
7	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc					2.696			2.696			2.696			2.696			2.696	
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) g/cc					2.582			2.582			2.582			2.582			2.582	
9	peso específico de la escoria - bulk					2.561			2.561			2.561			2.561			2.561	
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) g/cc					3.15			3.15			3.15			3.15			3.15	
11	Altura promedio de la briqueita cm																		
12	Masa de la briqueita al aire (g)				1205	1202	1198	1190	1201	1212	1188	1191	1193	1207	1198	1189	1183	1189	1195
13	Masa de la briqueita al agua por 60' (g)				1206	1202	1198	1190	1201	1212	1189	1192	1193	1208	1199	1190	1183	1189	1195
14	Masa de la briqueita desplazada (g)				679	679	671	672	674	683	675	674	678	687	682	678	673	678	679
15	Volumen de la briqueita por desplazamiento (cc)				527	523	527	518	527	529	514	518	515	521	517	512	510	511	516
16	Peso específico Bulk de la Briqueita				2.287	2.297	2.273	2.297	2.279	2.291	2.311	2.298	2.317	2.317	2.317	2.322	2.320	2.327	2.316
17	Peso Específico Máximo - Rice					2.47			2.45			2.43			2.42			2.41	
18	% de Vacíos				7.2	6.8	7.8	6.2	6.9	6.4	4.8	5.4	4.6	4.1	4.1	3.9	3.8	3.5	4.0
19	Peso Específico Bulk Agregado Total					2.636			2.636			2.636			2.636			2.665	
20	Peso Específico Efectivo Agregado total					2.642			2.644			2.642			2.649			2.665	
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.1			0.11			0.08			0.19			0.01	
22	% de Asfalto Efectivo					4.42			4.90			5.42			5.82			6.50	
23	Relación Polvo/Asfalto					0.7			0.8			0.9			1.0			1.1	
24	V.M.A.				17.2	16.8	17.6	17.2	17.9	17.4	17.1	17.6	17.0	17.4	17.4	17.2	18.6	18.4	18.7
25	% Vacíos llenos con C.A.				57.8	59.4	55.9	64.2	61.3	63.2	71.8	69.5	72.8	76.2	76.3	77.2	79.5	80.9	78.8
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				9.0	8.7	8.4	7.5	7.1	6.8	7.5	8.1	8.7	10.7	9.4	8.1	7.5	6.5	5.5
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1311	1100	889	1296	1107	1258	1021	1067	1112	1179	1038	897	788	756	724
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	Estabilidad Corregida				1259	1056	853	1296	1062	1207	1021	1067	1112	1179	1038	897	788	756	724
30	Estabilidad / Flujo				3539	3079	2583	4416	3785	4505	3480	3346	3231	2805	2808	2812	2686	2961	3331

OBSERVACIONES

- Muestreo e identificación realizados por el solicitante.

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Lunes, 16 de mayo del 2022
 Inicio de ensayo : Jueves, 26 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Sábado, 28 de mayo del 2022.


CARACTERÍSTICAS MARSHALL

	35	35
GOLPES	35	35
% C. A.	5.80	
P. UNITARIO	2.314	
VACIOS	4.5	3 - 5
V.M.A.	17.0	14.0
V. LL.C.A.	72.6	
POLVO / ASFALTO	0.94	0.6 - 1.3
FLUJO	9.7	8-20
ESTABILIDAD	10.7	4.53 kN.
ESTABILIDAD/ FLUJO	3143.9	1700 - 4000

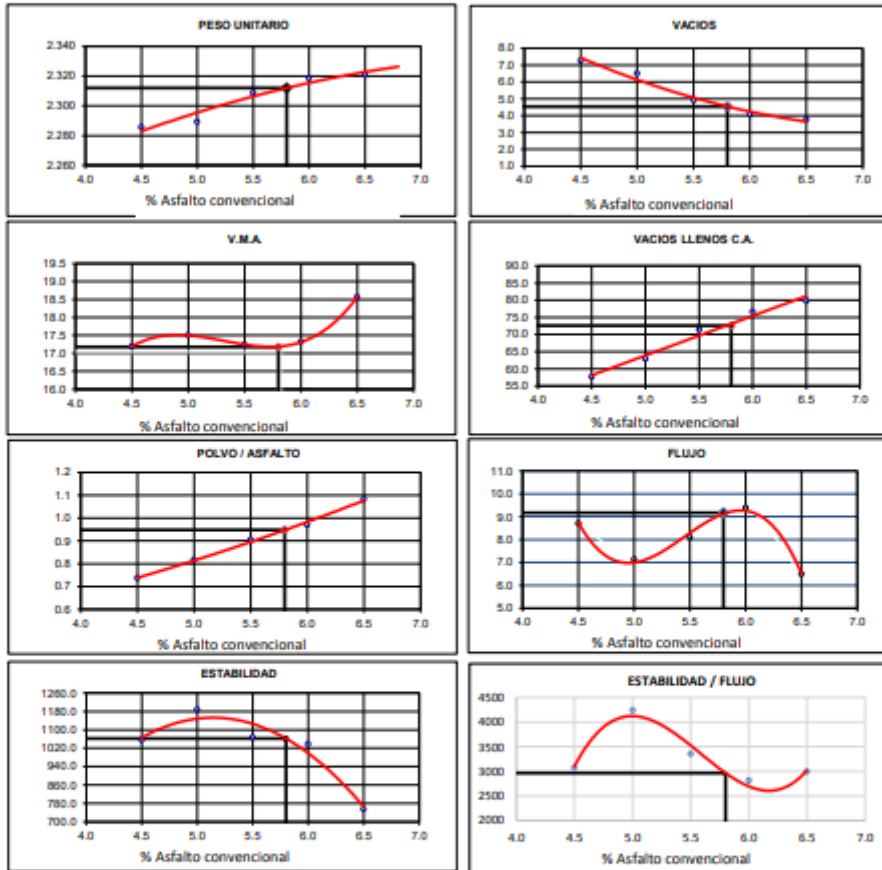
Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


WILSON OLAYA AGUILAR
 T.E.C. EN INGENIERÍA DE MATERIALES Y SUELOS


Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Lunes, 16 de mayo del 2022
 Inicio de ensayo : Jueves, 26 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Sábado, 28 de mayo del 2022.



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

GOLPES	50	50
% C. A.	5.80	
P. UNITARIO	2.312	
VACIOS	4.5	3 - 5
V.M.A.	17.2	14.0
V. LL.C.A.	72.6	
POLVO / ASFALTO	0.95	0.6 - 1.3
FLUJO	9.2	8-16
ESTABILIDAD	10.4	5.44 kN.
ESTABILIDAD FLUJO	2964.0	1700 - 4000

Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM						1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
					% pasa Material						100	100	95.6	86.1	65.1	42.2	21.7	13.4	6
BRIQUETA N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	% C.A. en masa de la Mezcla	4.50			5					5.5				6				6.5	
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla	38.20			38.20					37.80				37.60				37.40	
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla	55.39			55.10					54.81				54.52				54.23	
4	% de escoria de acero	0.00			0.00					0.00				0.00				0.00	
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla	1.91			1.90					1.89				1.88				1.87	
6	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) g/cc	1.018			1.018					1.018				1.018				1.018	
7	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc	2.696			2.696					2.696				2.696				2.696	
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc	2.582			2.582					2.582				2.582				2.582	
9	peso específico de la escoria - bulk	2.561			2.561					2.561				2.561				2.561	
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) g/cc	3.15			3.15					3.15				3.15				3.15	
11	Altura promedio de la briqueta cm																		
12	Masa de la briqueta al aire (gr)	1207	1199	1190	1188	1197	1205	1160	1185	1211	1191	1197	1203	1198	1189	1180			
13	Masa de la briqueta al agua por 60' (g)	1208	1199	1190	1188	1197	1206	1159	1185	1211	1191	1197	1203	1198	1190	1180			
14	Masa de la briqueta desplazada (g)	679	672	665	663	676	679	663	669	682	679	681	683	684	679	675			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)	529	527	525	525	521	527	496	516	529	512	516	520	514	511	505			
16	Peso específico Bulk de la Briqueta	2.282	2.274	2.267	2.263	2.297	2.287	2.339	2.297	2.289	2.326	2.320	2.313	2.331	2.327	2.337			
17	Peso Específico Máximo - Rice	2.47			2.45					2.43				2.42				2.41	
18	% de Vacíos	7.4	7.7	8.0	7.6	6.2	6.6	3.7	5.4	5.7	3.8	4.0	4.3	3.3	3.4	3.0			
19	Peso Específico Bulk Agregado Total		2.636		2.636					2.636				2.636				2.636	
20	Peso Específico Efectivo Agregado total		2.642		2.644					2.642				2.649				2.663	
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		0.09		0.11					0.08				0.19				0.39	
22	% de Asfalto Efectivo		4.42		4.90					5.42				5.82				6.14	
23	Relación Polvo/Asfalto		0.7		0.8					0.9				1.0				1.0	
24	V.M.A.	17.3	17.6	17.9	18.5	17.2	17.6	16.2	17.7	17.9	17.1	17.3	17.5	17.3	17.5	17.1			
25	% Vacíos llenos con C.A.	57.1	56.0	55.0	59.0	64.1	62.5	77.1	69.2	68.0	78.0	76.8	75.6	81.1	80.3	82.3			
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	9.4	6.4	11.0	7.0	7.8	9.7	8.2	8.3	8.2	8.5	8.9	9.4	6.0	6.6	7.2			
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1521	788	1383	1444	1372	1299	1176	1160	1143	1144	1227	1309	1415	1342	1269			
28	Factor de estabilidad	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	0.96	1.04	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04			
29	Estabilidad Corregida	1460	737	1328	1386	1372	1247	1223	1160	1097	1144	1227	1309	1415	1342	1320			
30	Estabilidad / Flujo	3950	2925	3078	5046	4448	3261	3800	3535	3385	3432	3487	3537	6012	5164	4641			

OBSERVACIONES

- Muestreo e identificación realizados por el solicitante



LEMS W&C EIRL
WILSON CLAYA AGUILAR
 TEC. EN INGENIERÍA DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**

Solicitante : PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY

Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022

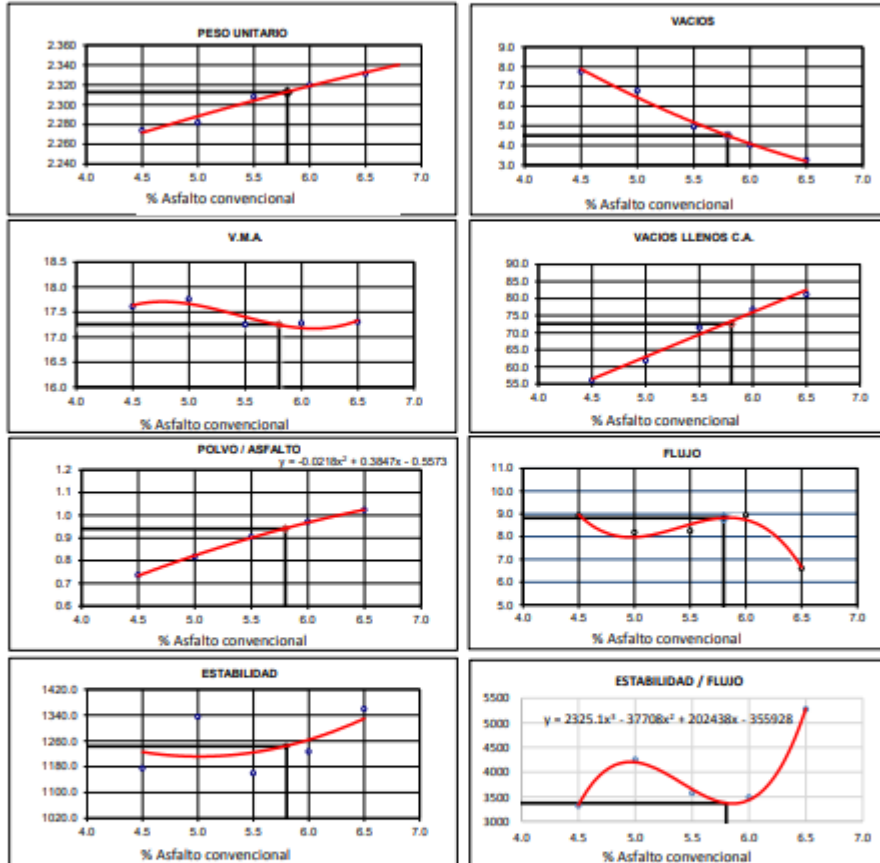
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS %	Piedra 40	Arena 58	Filler 2	Total 100	Tamices ASTM					1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
					% pasa Material													
BRIQUETA N°					1	2	3											
1	% C.A. en masa de la Mezcla																	
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla																	
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla																	
4	% de escoria de acero																	
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla																	
6	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) g/cc																	
7	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc																	
8	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) g/cc																	
9	peso especifico de la escoria - bulk																	
10	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) g/cc																	
11	Altura promedio de la briqueta cm																	
12	Masa de la briqueta al aire (gr)				1195	1197	1198											
13	Masa de la briqueta al agua por 60' (g)				1198	1198	1199											
14	Masa de la briqueta desplazada (g)				680	681	685											
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				518	517	514											
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta				2.308	2.313	2.331											
17	Peso Especifico Maximo - Rice						2.43											
18	% de Vacios				4.8	4.7	3.9											
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total						2.636											
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total						2.651											
21	Asfalto Absorbido por el Agregado						0.2											
22	% de Asfalto Efectivo						5.59											
23	Relación Polvo/Asfalto						0.9											
24	V.M.A.				17.5	17.4	16.7											
25	% Vacios llenos con C.A.				72.4	73.2	76.6											
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				9.7	10.0	10.3											
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1193	1171	1188											
28	Factor de estabilidad				1.00	1.00	1.00											
29	Estabilidad Corregida				1193	1171	1188											
30	Estabilidad / Flujo				3131	2973	2923											

OBSERVACIONES

- Muestreo e identificación realizados por el solicitante

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Lunes, 16 de mayo del 2022
 Inicio de ensayo : Jueves, 26 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Sábado, 28 de mayo del 2022.


CARACTERÍSTICAS MARSHALL

	75	75
GOLPES	75	75
% C. A.	5.80	
P. UNITARIO	2.313	
VACIOS	4.5	3 - 5
V.M.A.	17.3	14.0
V. L.L.C.A.	72.6	
POLVO / ASFALTO	0.94	0.8 - 1.3
FLUJO	8.8	8-14
ESTABILIDAD	12.2	8-15 kN.
ESTABILIDAD / FLUJO	3370.2	1700 - 4000

Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

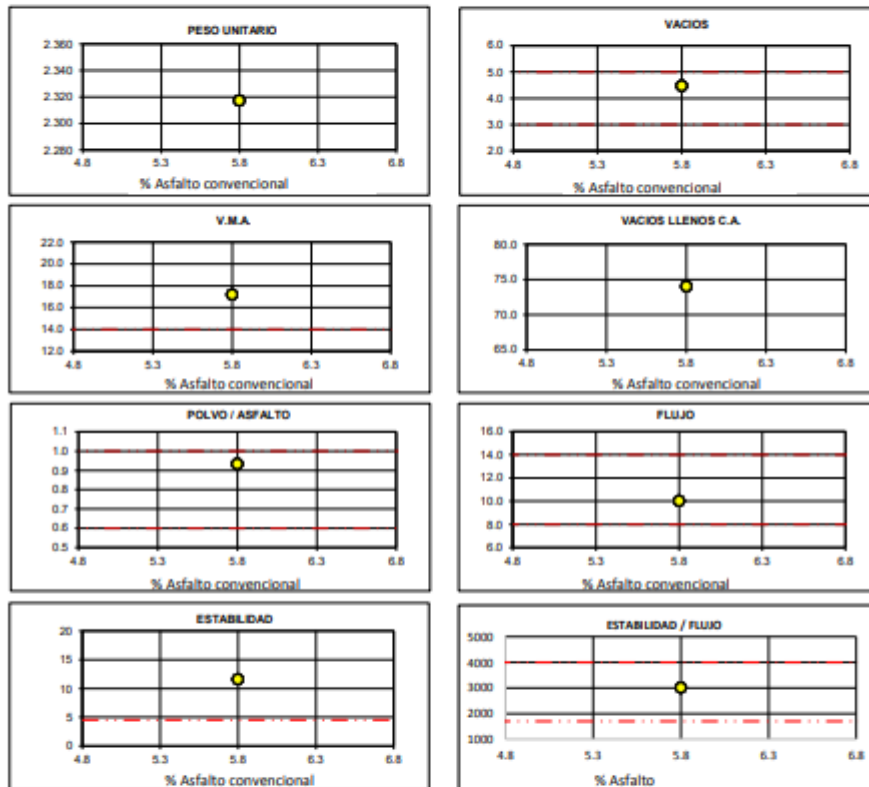


LEMS W&C EIRL
 WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. ENsayos DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022.
 Inicio de ensayo : Sábado, 28 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Lunes, 30 de mayo del 2022.



CARACTERISTICAS MARSHALL

	35	35
GOLPES	35	35
% C.A.	5.80	
P. UNITARIO	2.317	
VACIOS	4.5	3 - 5
V.M.A.	17.2	14.0
V. LL.C.A.	74.0	
POLVO / ASFALTO	0.93	0.6 - 1.3
FLUJO	10.0	8-20
ESTABILIDAD	11.6	4.53 kN
ESTABILIDAD / FLUJO	3009.2	1700 - 4000

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
 WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. ENGENYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Certificado INDECOP N°00137704 RNP Servicios 80608589

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRIOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Escoria	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM														
						% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200			
%	40		58	2	100				100	100	95.6	86.1	65.1	42.2	21.7	13.4	6			
BRIQUETA N°						1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	% ESPUMANTE						1.00			1.50			2.00			2.50			3.00	
1	% C.A. en masa de la Mezcla						5.80			5.80			5.80			5.80			5.80	
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla						37.68			37.68			37.68			37.68			37.68	
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla						54.64			54.64			54.64			54.64			54.64	
4	% Cemento portland en masa de la Mezcla						1.88			1.88			1.884			1.884			1.884	
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) g/cc						1.018			1.018			1.018			1.018			1.018	
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc						2.696			2.696			2.696			2.696			2.696	
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) g/cc						2.582			2.582			2.582			2.582			2.582	
8	peso especifico de la escoria - bulk																		0	
9	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) g/cc						3.15			3.15			3.15			3.15			3.15	
10	Altura promedio de la briqueta cm																			
11	Masa de la briqueta al aire (gr)					1196	1194	1192	1209	1204	1200	1200	1208	1216	1222	1211	1200	1200	1198	1197
12	Masa de la briqueta al agua por 60 '(g)					1197	1195	1193	1210	1206	1202	1200	1209	1218	1223	1212	1202	1201	1200	1198
13	Masa de la briqueta desplazada (g)					679	678	674	689	682	678	679	685	690	691	689	684	679	679	679
14	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)					518	517	519	521	524	524	521	524	528	532	523	518	522	521	519
15	Peso especifico Bulk de la Briqueta					2.309	2.310	2.297	2.320	2.299	2.292	2.303	2.305	2.302	2.299	2.314	2.317	2.299	2.302	2.305
16	Peso Especifico Maximo - Rlce						2.42			2.42			2.42			2.42			2.42	
17	% de Vacios					4.4	4.4	4.9	4.0	4.9	5.2	4.7	4.7	4.8	4.9	4.3	4.2	4.8	4.7	4.6
18	Peso Especifico Bulk Agregado Total						2.636			2.636			2.636			2.636			2.636	
19	Peso Especifico Efectivo Agregado total						2.639			2.641			2.642			2.641			2.639	
20	Asfalto Absorbido por el Agregado						0.0			0.1			0.1			0.1			0.0	
21	% de Asfalto Efectivo						5.76			5.73			5.72			5.73			5.76	
22	Relación Polvo/Asfalto						1.0			1.0			1.0			1.0			1.0	
23	V.M.A.					17.5	17.5	17.9	17.1	17.8	18.1	17.7	17.6	17.7	17.9	17.3	17.2	17.8	17.7	17.6
24	% Vacios llenos con C.A.					74.7	74.9	72.6	76.4	72.6	71.3	73.2	73.5	73.0	72.5	75.3	75.8	72.8	73.3	73.8
25	Flujo 0,01"(0,25 mm)					7.7	9.4	11.0	11.0	8.7	6.5	11.0	10.3	9.7	11.0	11.5	12.4	9.0	10.3	11.6
26	Estabilidad sin corregir (Kg)					1289	1155	1022	1180	1117	1054	1125	1265	1351	1225	1217	1210	1357	1420	1483
27	Factor de estabilidad					1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
28	Estabilidad Corregida					1289	1155	1022	1180	1072	1012	1125	1214	1297	1176	1169	1210	1357	1420	1483
29	Estabilidad / Flujo					4252	3122	2359	2725	3131	3954	2598	2995	3396	2716	2581	2478	3829	3501	3246

OBSERVACIONES

- Muestreo e identificación realizados por el solicitante.



WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. DISEÑOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : **PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY**
 Proyecto / Obra : **Teja "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"**
 Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.**
 Fecha de apertura : **Lunes, 16 de mayo del 2022**

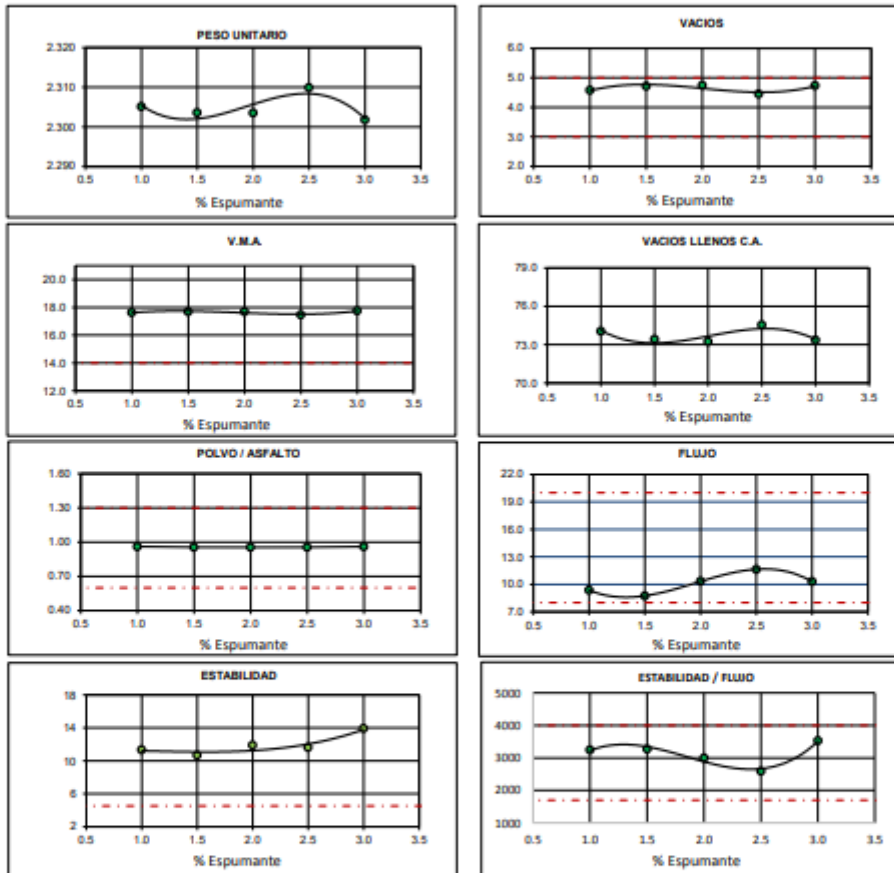
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Escoria	Arena	Filler	Total	Tamices ASTM					1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200	
						% pasa Material					100	100	95.6	86.1	65.1	42.2	21.7	13.4	6	
BRIQUETA N°						1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	% ESPUMANTE						1.00			1.50			2.00			2.50				3.00
1	% C.A. en masa de la Mezcla						5.80			5.80			5.80			5.80				5.80
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla						37.68			37.68			37.68			37.68				37.68
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla						54.64			54.64			54.64			54.64				54.64
4	% de escoria de acero						0.00			0.00			0.00			0.00				0.00
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla						1.88			1.88			1.884			1.884				1.884
6	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) g/cc						1.018			1.018			1.018			1.018				1.018
7	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) g/cc						2.696			2.696			2.696			2.696				2.696
8	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) g/cc						2.582			2.582			2.582			2.582				2.582
9	peso especifico de la escoria - bulk																			0
10	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) g/cc						3.15			3.15			3.15			3.15				3.15
11	Altura promedio de la briketa cm																			
12	Masa de la briketa al aire (gr)					1201	1201	1201	1203	1200	1197	1202	1202	1203	1197	1201	1205	1203	1203	1203
13	Masa de la briketa al agua por 60"(g)					1201	1202	1202	1204	1201	1198	1202	1203	1203	1198	1202	1206	1204	1204	1204
14	Masa de la briketa desplazada (g)					680	680	680	684	680	680	682	682	685	682	685	687	682	687	680
15	Volumen de la briketa por desplazamiento (cc)					521	522	522	520	521	518	520	521	518	516	517	519	522	517	524
16	Peso especifico Bulk de la Briketa					2.304	2.302	2.300	2.313	2.303	2.310	2.310	2.309	2.321	2.318	2.322	2.321	2.305	2.327	2.296
17	Peso Especifico Maximo - Rice						2.42			2.42			2.42			2.42				2.42
18	% de Vacios					4.8	4.9	5.0	4.4	4.9	4.6	4.6	4.7	4.2	4.3	4.1	4.2	4.8	3.9	5.2
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total						2.636			2.636			2.636			2.636				2.636
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total						2.645			2.645			2.647			2.646				2.647
21	Asfalto Absorbido por el Agregado						0.1			0.1			0.2			0.1				0.2
22	% de Asfalto Efectivo						5.68			5.67			5.66			5.66				5.65
23	Relación Polvo/Asfalto						0.9			0.9			0.9			0.9				0.9
24	V.M.A.					17.7	17.7	17.8	17.3	17.7	17.5	17.4	17.5	17.1	17.2	17.0	17.1	17.6	16.8	18.0
25	% Vacios llenos con C.A.					72.7	72.4	72.1	74.3	72.4	73.7	73.6	73.3	75.5	75.1	75.8	75.6	72.6	76.7	71.0
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)					11.9	12.1	12.3	9.7	10.0	10.3	11.0	10.2	9.4	11.5	12.0	11.7	11.0	11.9	12.4
27	Estabilidad sin corregir (Kg)					1262	1211	1160	1346	1360	1373	1405	1504	1403	1136	1289	1373	1443	1302	1161
28	Factor de estabilidad					1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
29	Estabilidad Corregida					1262	1211	1160	1346	1360	1373	1405	1504	1403	1136	1289	1373	1443	1302	1115
30	Estabilidad / Flujo					2685	2542	2403	3533	3453	3378	3254	3760	3809	2508	2728	2980	3332	2779	2283

OBSERVACIONES

- Muestreo e identificación realizados por el solicitante.

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 31 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Jueves, 02 de junio del 2022.



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

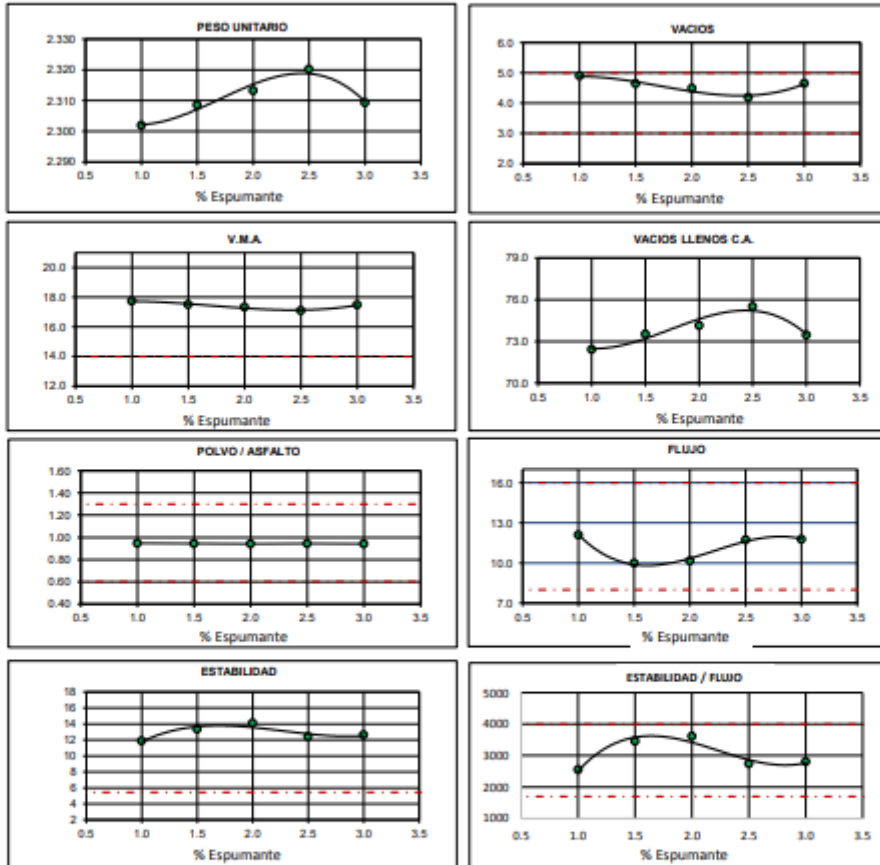
Característica	35	35
GOLPES	35	35
% ESPUMANTE	2.5	
% C. A.	5.80	
P. UNITARIO	2.310	
VACIOS	4.4	3 - 5
V.M.A.	17.5	14.0
V. LL.C.A.	74.5	
POLVO / ASFALTO	0.96	0.6 - 1.3
FLUJO	11.6	8-20
ESTABILIDAD	11.61	4.53 KN.
ESTABILIDAD FLUJO	2592	1700 - 4000

Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL
 WILSON CLAYA AGUILAR
 TEC. ENsayos DE MATERIALES Y SUELOS

Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 31 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Jueves, 02 de junio del 2022.



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

	50	50
GOLPES	50	50
% ESPUMANTE	2.5	
% C. A.	5.80	
P. UNITARIO	2.320	
VACIOS	4.2	3 - 5
V.M.A.	17.1	14
V. LL.C.A.	75.5	
POLVO / ASFALTO	0.94	0.5 - 1.3
FLUJO	11.7	8-16
ESTABILIDAD	12.40	5.44 kN.
ESTABILIDAD FLUJO	2739	1700 - 4000

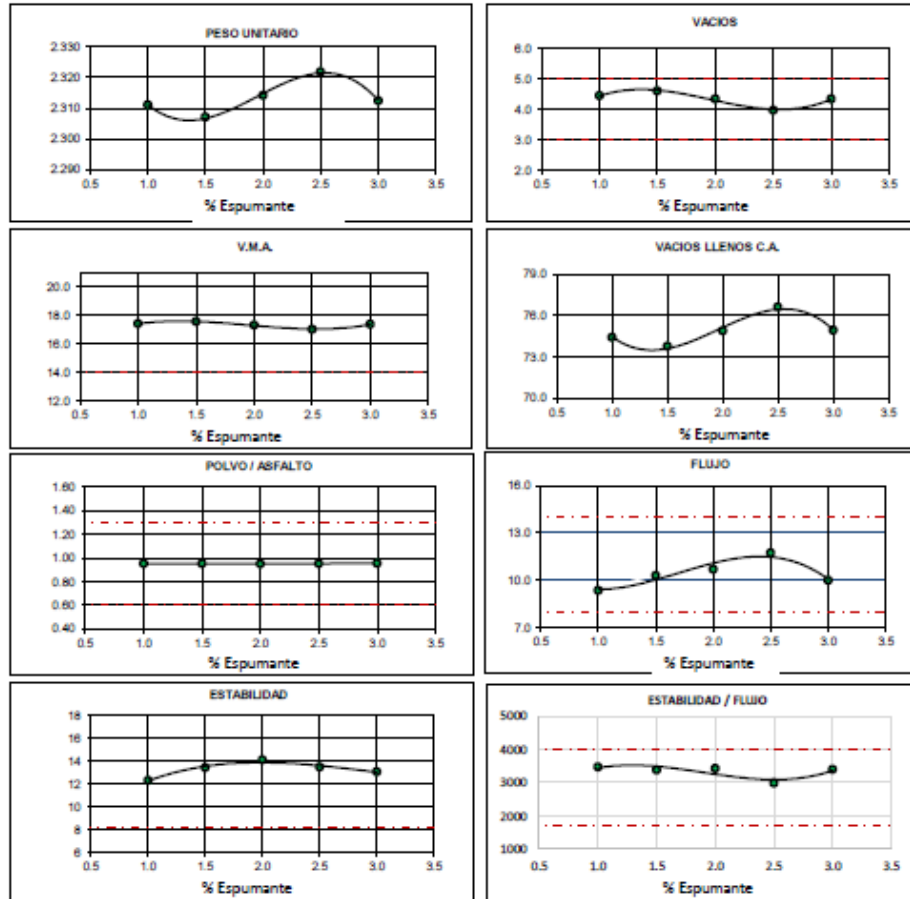
Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL

WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1605A-22/LEMS W&C
 Solicitante : PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY
 Proyecto / Obra : Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE"
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Lunes, 16 de mayo del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 31 de mayo del 2022.
 Fin de ensayo : Jueves, 02 de junio del 2022.



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

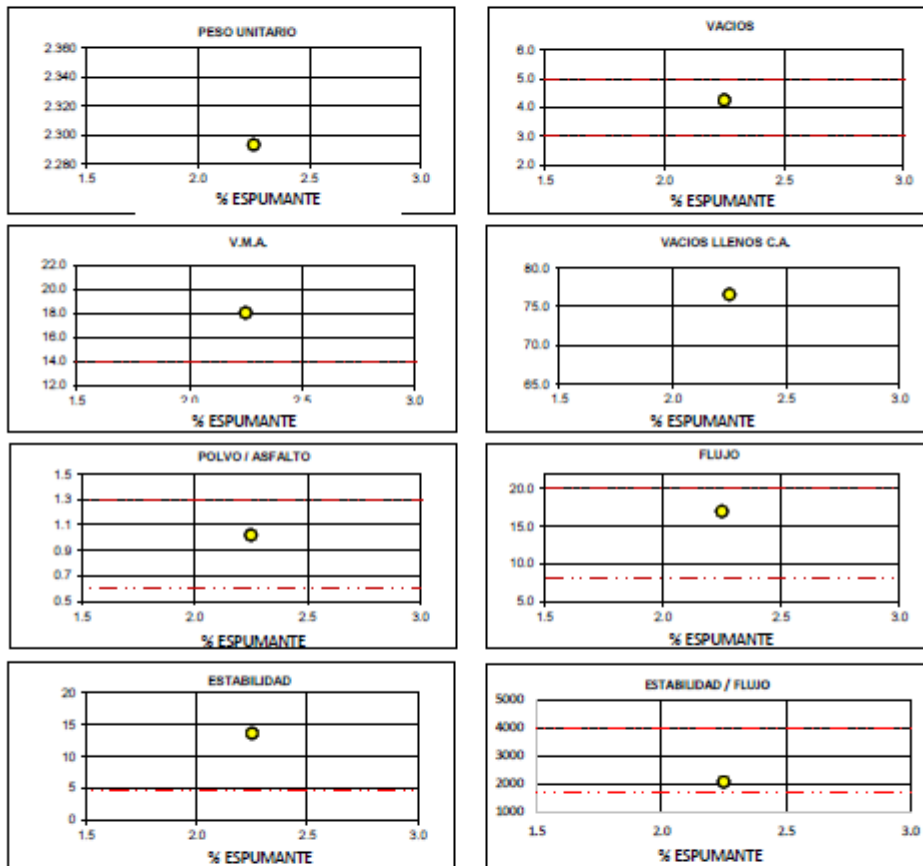
GOLPES	75	75
% ESPUMANTE	2.5	
% C. A.	5.80	
P. UNITARIO	2.322	
VACIOS	4.0	3 - 5
V.M.A.	17.0	14.0
V. L.L.C.A.	76.6	
POLVO / ASFALTO	0.95	0.6 - 1.3
FLUJO	11.7	8-14
ESTABILIDAD	13.48	6.15 kN.
ESTABILIDAD / FLUJO	2979	1700 - 4000

Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


LEMS W&C EIRL
 WILSON CLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS


 Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : **PINEDO CHICCHÓN , MARCK ANTHONY**
 Proyecto / Obra : **TESIS ANALISIS COMPARATIVO DEL METODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE**
 Ubicación : **Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.**
 Fecha de apertura : **Lunes, 16 de mayo del 2022**
 Inicio de ensayo : **Jueves, 02 de junio del 2022.**
 Fin de ensayo : **Sábado, 04 de junio del 2022.**



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

GOLPES	35	35
% ESPUMANTE	2.25	
P. UNITARIO	2.293	
VACIOS	4.2	3 - 5
V.M.A.	18.0	14.0
V.L.L.C.A.	76.5	
POLVO / ASFALTO	1.02	0.6 - 1.3
FLUJO	17.0	8-20
ESTABILIDAD	13.6	4.53 KN
ESTABILIDAD FLUJO	2071.7	1700 - 4000

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solidtante.

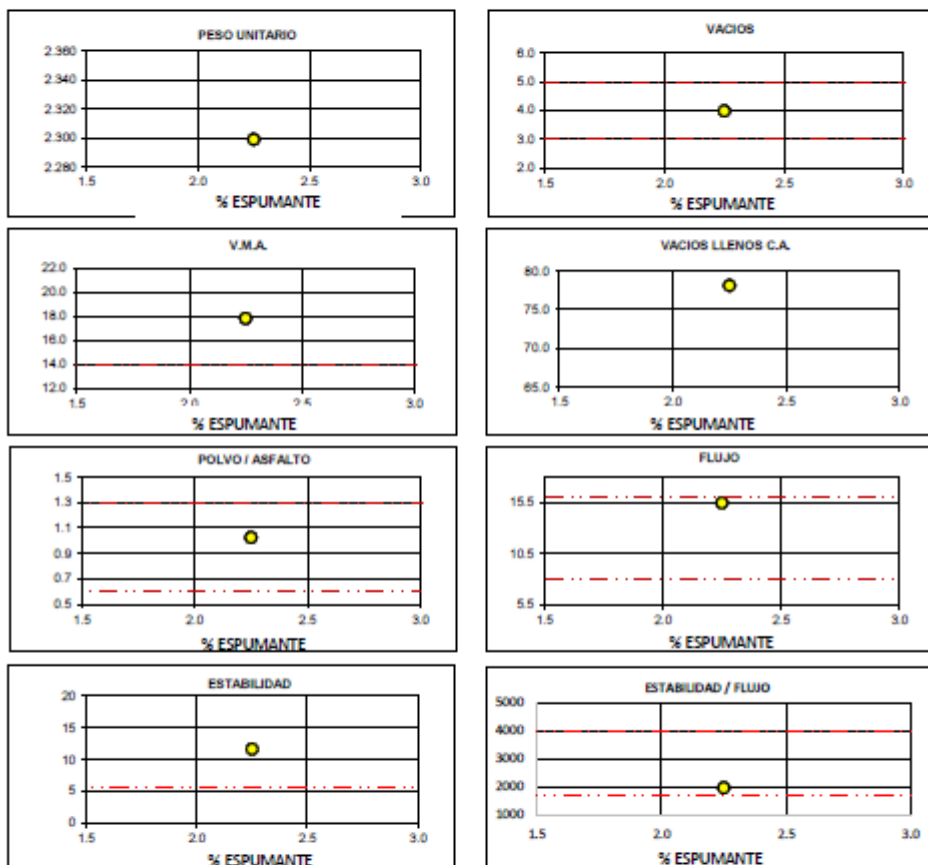


LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TEG. ENGENYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : **PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY**
 Proyecto / Obra : **TESIS ANALISIS COMPARATIVO DEL METODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE**
 Ubicación : **Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.**
 Fecha de apertura : **Lunes, 16 de mayo del 2022**
 Inicio de ensayo : **Jueves, 02 de junio del 2022.**
 Fin de ensayo : **Sábado, 04 de junio del 2022.**



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

	50	50
GOLPES	50	50
% ESPUMANTE	2.25	
P. UNITARIO	2.299	
VACIOS	4.0	3 - 5
V.M.A.	17.8	14.0
V. L.L.C.A.	78.1	
POLVO / ASFALTO	1.02	0.6 - 1.3
FLUJO	15.4	8-16
ESTABILIDAD	11.6	5.44 kN.
ESTABILIDAD FLUJO	1956.6	1700 - 4000

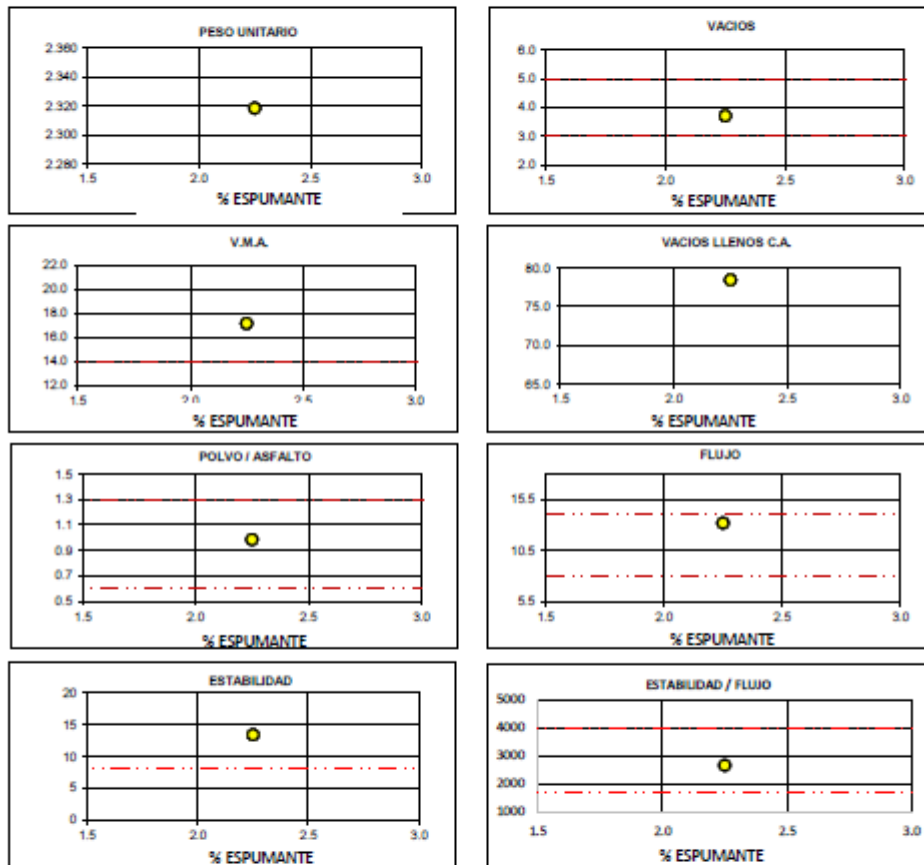
Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


LEMS W&C EIRL
WILSON CLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1605A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : **PINEDO CHICCHÓN, MARCK ANTHONY**
 Proyecto / Obra : **TESIS ANALISIS COMPARATIVO DEL METODO ESPUMADO Y CONVENCIONAL EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CLIMAS FRÍOS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE**
 Ubicación : **Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.**
 Fecha de apertura : **Lunes, 16 de mayo del 2022**
 Inicio de ensayo : **Jueves, 02 de junio del 2022.**
 Fin de ensayo : **Sábado, 04 de junio del 2022.**



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

	75	75
GOLPES	75	75
% ESPUMANTE	2.25	
P. UNITARIO	2.318	
VACIOS	3.7	3 - 5
V.M.A.	17.2	14.0
V.L.L.C.A.	78.4	
POLVO / ASFALTO	0.98	0.6 - 1.3
FLUJO	13.2	8-14
ESTABILIDAD	13.4	8.14 kN
ESTABILIDAD / FLUJO	2649.4	1700 - 4000

Observaciones:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solidtante.


LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS


Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

ANEXO V: Plano de ubicación.

