



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**Elaboración de Mezcla Asfáltica Modificada con Botellas
Plásticas Recicladas, Aplicando el Método Marshall para
Tránsito Pesado**

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

Autor

Bach. Alvines Arbaiza Joan Fernando

ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-9216-6427>)

Asesor

Mag. Cubas Armas Marlon Robert

ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-9750-1247>)

Línea de Investigación

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2023

**“ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS
PLÁSTICAS RECICLADAS APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA
TRÁNSITO PESADO”**

Aprobación del jurado

MAG. ORDINOLA LUNA EFRAÍN

Presidente del Jurado de Tesis

MAG. CASAS LOPEZ ARTURO ELMER

Secretario del Jurado de Tesis

MAG. CUBAS ARMAS MARLON ROBERT

Vocal del Jurado de Tesis



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe la DECLARACIÓN JURADA, soy **egresado** del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

“ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS PLÁSTICAS RECICLADAS APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO”

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 (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al 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:

Alvines Arbaiza Joan Fernando	DNI: 75329497	
-------------------------------	---------------	---

Pimentel, 27 de abril de 2023.

Dedicatoria

Esta presente tesis está dedicada a Dios y a la Virgen María, quienes influyen en el crecimiento de mi vida, me cuidan, me protegen y a su vez derraman muchas bendiciones sobre mis padres.

A mis padres

Quienes a lo largo de la carrera profesional siempre estuvieron atentos en mi bienestar y en mi educación, a ellos les debo mi carrera profesional que en todo este tiempo a sido de mucho esfuerzo, dedicación y donde ellos siempre me aconsejaron, me dieron mucho ánimo y motivos para crecer como persona y como profesional.

A mi hermano

También se la dedico a mi hermano Jhonny, el cual siempre estuvo apoyándome en todo este periodo universitario, dándome ánimo para lograr mis objetivos y por los grandes consejos de siempre salir adelante.

A mi enamorada

A mi enamorada Gaby, quien siempre me da su apoyo incondicional y ánimo para continuar con mi crecimiento personal, académico y profesional.

Joan Fernando

Agradecimiento

A la Universidad Señor de Sipán y a todos mis profesores, lo cuales han aportado grandes conocimientos sobre mí durante toda la carrera profesional, y a su vez agradezco por las exigencias establecidas en cada una de sus asignaturas, lo cual me ha convertido en una persona responsable y competitiva.

Quiero agradecer también a mis compañeros de estudio, quienes han hecho de la universidad un hogar, en donde cada trabajo de grupo hemos logrado compartir y desarrollado, dándonos apoyo entre nosotros para salir adelante.

El Autor

Índice

Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice de tablas.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Resumen	X
Abstract.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad Problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Hipótesis.....	19
1.4. Objetivos.....	19
1.5. Teorías relacionadas al tema.....	20
II. MATERIALES Y MÉTODO	52
2.1. Tipo y Diseño de Investigación	52
2.2. Variables, Operacionalización.....	52
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	54
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y Confiabilidad.....	55
2.5. Procedimiento de análisis de datos.....	57
2.6. Criterios éticos.....	57
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
3.1. Resultados.....	59
3.2. Discusión	83
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1. Conclusiones	86
4.2. Recomendaciones	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS.....	94
ANEXO 1: Instrumentos de recolección de datos - Informes de laboratorio técnico	94
ANEXO 2: Carta de Autorización para recolección de información.....	131
ANEXO 3: Evidencias de ejecución.....	132

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	53
Tabla 2. Resumen de pruebas de control de calidad del árido grueso	61
Tabla 3. Resumen de pruebas de control de calidad del árido fino	61
Tabla 4. Resumen de resultados de control de calidad del PEN 60-70	62
Tabla 5. Resultados de dosificación de agregados pétreos para mezcla asfáltica, 55% de Agregado Fino + 44% de Agregado Grueso + 1% de Filler Mineral	63
Tabla 6. Husos granulométricos para MAC.....	64
Tabla 7. Resultados de condiciones volumétricos en tránsito pesado.....	66
Tabla 8. Diseño de mezcla patrón.....	76
Tabla 9. Diseño para mezcla asfáltica modificada, método tipo Marshall.....	77
Tabla 10. Comparativo de parámetros de diseño de la mezcla MAP vs MAM.....	78

Índice de figuras

Figura 1. Composición de mezcla asfáltica	33
Figura 2. Curvas de propiedades de prueba para datos de diseño de mezcla en caliente mediante el método Marshall	43
Figura 3. Aspectos generales del PET	44
Figura 4. Estructura química del PET.....	46
Figura 5. Propiedades físicas y químicas del PET	46
Figura 6. Ciclo de vida del PET.....	49
Figura 7. Total, acumulado de plásticos producidos y eliminados	50
Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso.....	59
Figura 9. Curva granulométrica del agregado fino.....	60
Figura 10. Gradación de los áridos pétreo con respecto al MAC-2.....	64
Figura 11. Gráfico % Contenido de Asfalto vs Peso Unitario de la mezcla patrón	67
Figura 12. Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos con aire de la mezcla patrón.....	68
Figura 13. Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos en el agregado mineral de la mezcla patrón.	68
Figura 14. Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos llenos con cemento asfáltico de la mezcla patrón.	69
Figura 15. Gráfico % Contenido de Asfalto vs el Flujo de la mezcla patrón.....	69
Figura 16. Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Estabilidad de la mezcla patrón.	70
Figura 17. Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre el polvo/asfalto de la mezcla patrón.	70
Figura 18. Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre la Estabilidad/Flujo de la mezcla patrón.	71
Figura 19. Gráfico % Contenido de Asfalto vs Peso Unitario de la mezcla modificada + 0.5%PET.....	72
Figura 20. Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos con aire de la mezcla modificada + 0.5%PET.....	72
Figura 21. Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos en el agregado mineral de la mezcla modificada + 0.5%PET.	73
Figura 22. Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos llenos con cemento asfáltico de la mezcla modificada + 0.5%PET.	73
Figura 23. Gráfico % Contenido de Asfalto vs el Flujo de la mezcla modificada + 0.5%PET.	74

Figura 24. Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Estabilidad de la mezcla modificada + 0.5%PET.....	74
Figura 25. Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre el polvo/asfalto de la mezcla modificada + 0.5%PET.	75
Figura 26. Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre la Estabilidad/Flujo de la mezcla modificada + 0.5%PET.	75
Figura 27. Gráfico comparativo Peso Específico de la MAP y MAM.....	79
Figura 28. Gráfico comparativo Estabilidad de la MAP y MAM.....	79
Figura 29. Gráfico comparativo Flujo Marshall de la MAP y MAM.....	80
Figura 30. Gráfico comparativo % Vacíos de Aire de la MAP y MAM.....	80
Figura 31. Gráfico comparativo % Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) de MAP y MAM ...	81
Figura 32. Gráfico comparativo % Vacíos Llenos con Asfalto de la MAP y MAM	81
Figura 33. Gráfico comparativo Relación de Polvo-Asfalto de la MAP y MAM	82
Figura 34. Gráfico comparativo Relación de Estabilidad-Flujo de la MAP y MAM	82

Resumen

El estudio de investigación se planteó en la elaboración de una mezcla asfáltica modificada con botellas de plástico recicladas para tránsito pesado, en donde se evaluó la influencia de la incorporación de Tereftalato de Polietileno (PET) de acuerdo a los parámetros de diseño Marshall, cuya metodología de enfoque fue cuantitativo, por otra parte, el tipo y diseño de investigación fue descriptivo y experimental, tomando en cuenta una población de 90 briquetas cilíndricas, dando como resultado que el porcentaje óptimo que se obtuvo al incluir el PET triturado es de 0.5% al 5.80% de óptimo contenido de cemento asfáltico, ambos contenidos fueron con respecto al peso total de los agregados. Se concluye que agregar PET reciclado en la mezcla asfáltica modificada para tránsito pesado mejora su comportamiento con respecto a la Estabilidad Marshall mientras que el resto de los parámetros de diseño Marshall se mantienen dentro de los requerimientos exigidos, excepto el Flujo Marshall que sobrepasa el límite superior de diseño, lo cual no se encuentra acorde a las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción (EG-2013) indicadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Palabras Clave: Tereftalato de Polietileno, Cemento asfáltico, Método Marshall, Flujo Marshall, PET reciclado, Cuantitativo.

Abstract

The research study was proposed in the elaboration of a modified asphalt mixture with recycled plastic bottles for heavy traffic, where the influence of the incorporation of Polyethylene Terephthalate (PET) was evaluated according to the Marshall design parameters, whose methodology The approach was quantitative, on the other hand, the type and design of the research was descriptive and experimental, taking into account a population of 90 cylindrical briquettes, resulting in the optimal percentage obtained by including crushed PET is 0.5% at 5.80% optimal content of asphalt cement, both contents were with respect to the total weight of the sample. It is concluded that adding recycled PET to the modified asphalt mix for heavy traffic improves its behavior with respect to Marshall Stability while the rest of the Marshall design parameters remain within the required requirements, except for the Marshall Flow which exceeds the upper limit. design, which is not in accordance with the General Technical Construction Specifications (EG-2013) established by the Ministry of Transport and Communications.

Keywords: Polyethylene Terephthalate, Asphalt Cement, Marshall Method, Marshall Flow, Recycled PET, Quantitative.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El plástico actualmente es un contaminante que afecta al medio ambiente cuyas autoridades intentan controlar, ya que al generar sólidos tóxicos contaminan el agua y el suelo, ocasionando retransmisión dañina al contaminar el aire, poniendo en riesgo la vida las plantas, animales y seres humanos, se han desarrollado investigaciones, en donde afirman que los plásticos pueden ser un modificador en mezcla asfáltica, garantizando una mejora en sus parámetros de estabilidad y rendimiento, y uno de ellos es el polietileno (PE), este es un polímero termoplástico.

En Estados Unidos, se plantea que el 20% de botellas plásticas pequeñas se cambie y se consuma solo en envases grandes, para que así se reduzca la producción de más de 10000 toneladas de tereftalato de polietileno (PET) cada año, es probable que el incremento de su producción duplique la producción de residuos plásticos (Becerril-Arreola & Bucklin, 2021).

China, cuyo país es primero en el mundo al desechar plástico al mar, alcanzando los 269.9 millones de toneladas, mientras que Indonesia se coloca en segundo lugar, logrando una cifra de 187.2 millones de toneladas de residuos plásticos arrojados de manera incorrecta, logrando contaminar el medio ambiente y a su vez a la naturaleza, puesto que, el material plástico posee una estructura compleja en deshacer y por ello se realizaron estudios para determinar si al agregar botellas de plástico recicladas sería una buena alternativa para el desarrollo de la mezclas asfáltica (Fikri y otros, 2019).

En la actualidad los residuos plásticos logran acumular 1300 millones de toneladas/año a nivel mundial, a raíz de dicha problemática ha puesto en investigación emplear el PET reciclado como material innovador de obras de carreteras siendo agregado como parte de la mezcla asfáltica (Khoiri y otros, 2019).

La utilización del plástico ha provocado el incremento de contaminación ambiental , sobre

todo los desperdicios plásticos, ya que generan gran impacto negativo debido a que este material es difícil de descomponer, es por ello que se realizaron estudios en diseño de asfalto con diferentes cantidades de plástico, con el fin de obtener resultados positivos con respecto a la mezcla convencional y así aminorar los desechos que se generan anualmente, y reducir el impacto ambiental (Adhitya y otros, 2019).

Debido al gran incremento de consumo de botellas de plástico de PET y envases de comida de poliestireno (PS), estos han generado incremento de basura que son manejados de distintas maneras, ya que no todos son reciclados, otros son quemados o incinerado, pero existe la idea y pone en investigación la reutilización de estos materiales para así lograr aplicarlos en mezclas asfálticas, debido a que estos podrían reparar daños que sufre el asfalto como ondulaciones, surcos, fatiga, agrietamiento, bacheo y a su vez mejor sus propiedades en cuanto a estabilidad, deformaciones y resistencia a cambios de temperatura (Sumiati & Flaviana T, 2018).

Según un reporte dado por el Ministerio del Medio Ambiente en Indonesia en el 2012, los residuos sólidos a día llegan a 175000 toneladas/día, usualmente la población para deshacerse de la cantidad de residuos plásticos, optan por la incineración de plásticos residuales, pero ello no es factible debido a que, al incinerar estos plásticos, provocan gas sulfuro de hidrógeno ($H_2 S$), lo cual origina daño para el medio ambiente (Hendriane y otros, 2018).

En Arabia Saudita, los desechos de botellas plásticas se han incrementado en primer lugar por el crecimiento urbanístico e industrial del país. El originar desechos plásticos de manera per cápita se tasa en 1.5 a 1.8 kg por persona por día, y según el estudio realizado se dice que las ciudades más grandes del país: Riad, Jeddah y Dammam aventaja sobre los 6 millones de toneladas anuales (Dalhat & Al-Abdul Wahhab, 2017).

En Tailandia en el 2014 señala que la cantidad de residuos sólidos generados fueron alrededor de 26.19 millones de toneladas, donde se señala que aproximadamente del total de los residuos sólidos, solo se puede reciclar el 30% de los residuos domésticos y solo el 16% de

residuos plásticos (Arun y otros, 2017).

Gran parte de residuos sólidos que van a la basura son las botellas plásticas en donde mayormente se consumen agua mineral y bebidas carbonatadas. Estos envases son elaborados a base de PET, este polímero es reciclable por completo.

El desarrollo del material plástico alrededor del mundo es un problema, dado que no se utilizan elementos biodegradables en su totalidad, en vez de seguir fabricando materiales a base de PET, el cual es muy útil para diversas obras civiles, es necesario producirlo en distintos materiales como geosintéticos, geotextiles, entre otros, demostrando la alta resistencia a la tracción y baja posibilidad de filtración que este posee (Alvarez Cabrera y otros, 2020).

En los diez recientes años, la fabricación de PET ha crecido en todo el mundo y a su vez la contaminación ambiental ha incrementado anualmente, dado que el plástico para poder deshacerse demora aproximadamente 1000 años, logrando contaminar el agua y a todos los seres vivos (Paredes y otros, 2020).

Las botellas de plástico de PET, se produce en grandes cantidades que después de su uso sólo el 12% de ellas se reciclan y la parte restante acaba en la basura. Este material tiene un largo tiempo de descomposición y a su vez logran ocupar un gran espacio, es por ello que estos residuos sólidos PET han sido rescatados como alternativa para obras proyectadas con el fin de disminuir la eliminación los residuos sólidos (Durán Ramírez y otros, 2019).

La demanda industrial de importación de botellas de PET en Lima y en todas las ciudades del Perú, entre el año 2008 – 2017, han crecido por encima de 2.5 veces y durante el 2015, se fabricaron 8300 millones de toneladas con plástico reciclado, y provocaron 63000 millones de toneladas en residuos sólidos, al no realizar nada por incentivar el reciclaje, se estima que al año 2050 existiría una producción de 12000 millones de toneladas de residuos plásticos en los mares y el medio ambiente (Stoll y otros, 2019).

Las botellas de plástico comprenden parte importante de participación en los restos sólidos en el Distrito de Chiclayo, pero solo una fracción es reciclada, debido a que no se cuenta

con una planta para recicladora en la región, este material es enviado a la planta recicladora de Lima con la finalidad de ser tratados y reutilizado, usualmente se vende a S/0.80 el kg de botellas. Las cifras que se muestran al año 2017, indican que la Provincia de Chiclayo logró desechar 31999.76 kg, sacando un promedio de consumo diario de 87.67 kg (Flores León, 2019).

De acuerdo al Informe Defensorial N° 181 elaborado por la Defensoría del Pueblo en el año 2019, menciona que el origen de la basura sólida municipal se encuentra normalmente en residencias privadas, espacios públicos y lugares públicos, en el cuadro N°01 de dicho informe, se manifiesta la variación en la reproducción de desechos en la Provincia, según departamento: Lambayeque en el año 2014 generó 264,474 toneladas y en el año 2018 alcanzó los 298,686 toneladas, lo que conlleva a una variación de crecimiento del 13% entre ambos años (García López y otros, 2019).

En Chiclayo, en el distrito de Ciudad Eten uno de los problemas domiciliarios más grandes que aqueja a los ciudadanos, son los residuos sólidos, debido a que el transporte no está diariamente a disposición de la ciudadanía, es por ello que esta necesidad los llevó a realizar un programa formado dentro de la Municipalidad para la venta de residuos sólidos, consiguiendo clasificarla por el tipo de material, con el fin de lograr sus ventas a la empresa recicladora INBC que mes a mes compra estos residuos, siendo ella el proveedor principal (Puican Olivos , 2018).

(Agha y otros, 2023) En su investigación “Performance Evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) Containing Polyethylene Terephthalate (PET) Using Wet and Dry Mixing Techniques”, el objetivo fue realizar una MAC con PET, para así evaluar las características físicas y mecánicas en comparación al diseño convencional. Se empleo el método Marshall para tránsito pesado en donde se evaluó la deformabilidad y resistencia a la carga máxima, empleando PEN 60/70 en porcentajes de 3.5, 4, 4.5, 5 y 5.5 %, mientras que el PET se aplicó en porcentajes del 2, 6, 8 y 10% con respecto al peso del asfalto. Se concluye que a un óptimo contenido igual a 4.341% de PEN 60/70 y al PET en un 6% se logró disminuir la estabilidad Marshall en un 0.85% aproximadamente, mientras que el flujo incrementó en un 6%.

(Ahmad & Ahmad, 2022) En su estudio de investigación “The impact of polyethylene terephthalate waste on different bituminous designs”, el objetivo fue evaluar los resultados de la mezcla modificada con respecto a la mezcla tradicional, cuya metodología fue emplear el método Marshall cuyo fin fue estudiar sus características físico/mecánico al agregar PET en porcentajes con respecto al peso del bitumen de 2, 4, 6, 8, 10 y 12%. Se concluye que de los resultados obtenidos a un óptimo contenido de bitumen 4.87% + 12% de PET, la estabilidad incrementa al agrega mayor cantidad de PET dando un resultado favorable de aumento en un 26.15%, por otra parte, en cuanto a flujo, la mezcla presentó disminución en un 17.74% comparación a la mezcla convencional.

(Mashaan y otros, 2022) En su estudio de investigación “Evaluation of the Performance of Two Australian Waste-Plastic-Modified Hot Mix Asphalts”, el objetivo fue estudiar el comportamiento del PET como mejorador de mezclas asfálticas de acuerdo a la mezcla tradicional, cumpliendo con los parámetros de diseño australiano. La metodología de diseño fue utilizar el método Marshall para demostrar las propiedades físicas y mecánicas. Se concluye que se mostraron mejoras al emplear PET como aditivo, mostrando una Estabilidad de 19.78kN y flujo de 2.80mm, dichas resultados se obtuvieron a un óptimo contenido de PET al 8% de acuerdo al peso del asfalto.

(Abuaddous y otros, 2021) en su investigación denominada “The potential use of recycled polyethylene terephthalate (RPET) plastic waste in asphalt binder”. Esta investigación tuvo como objetivo analizar los residuos plásticos reciclados de PET como modificador de asfalto. La metodología consistió en limpiar y triturar de las botellas plásticas para luego ser incorporadas en porcentajes de 0, 5, 10, 15 y 20 %, con respecto al peso del asfalto. Como resultado se obtiene que al añadir el 15 y el 20% de residuos plásticos RPET, el ligante asfáltico a una alta temperatura aumenta su rendimiento. Llegando así a concluir que al añadir residuos plásticos disminuyó en el asfalto la resistencia al agrietamiento por fatiga.

(Movilla Quesada y otros, 2019) en su investigación “Effects of Recycled Polyethylene

Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures”, la finalidad principal fue estudiar el comportamiento al añadir PET procedente de botellas recicladas en porcentajes de 6% al 22% de acuerdo al peso del asfalto. El método fue realizar pruebas de estabilidad y flujo, aplicando porcentajes de PET en 6, 10, 14, 18 y 22%, el tipo de tránsito estudiado fue el tránsito pesado. Dichos resultados demostraron el mejor contenido de asfalto fue al 5,3% y utilizar PET como aditivo mejora la estabilidad y aumenta la resistencia a la deformación permanente con respecto a la mezcla convencional, por otra parte, adicionar PET en porcentajes del 6 al 10% mantiene los valores permisibles de flujo a un máximo de 4mm, mientras que agregar porcentajes del 18% al 22% superan el límite superior a un 5mm, estos parámetros fueron considerados con respecto a las normas de diseño chilenas.

(Choudhary y otros, 2018) en estudio “Properties of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) Modified Asphalt Mixes: Dependence on PET Size, PET Content, and Mixing Process”, cuya finalidad fue estudiar la adición de botellas de plástico trituradas en la mezcla asfáltica en caliente, cuya metodología fue Marshall y los porcentajes de PET empleados fueron de 2.5%, 5.0% y 7.5% de acuerdo al peso del asfalto, mientras que los contenidos de asfalto empleados fueron de 4.5, 5, 5.5, y 6% para un tránsito pesado. Los resultados determinaron que la incorporación de PET en cuanto a la gravedad específica fue mucho más baja que la mezcla convencional, mientras que la estabilidad Marshall alcanzó su punto máximo al 5% de PET pudiendo mejorar su resistencia de acuerdo a la mezcla tradicional, asimismo, se llegó a la conclusión que los valores alcanzados cumplen con los parámetros de diseño.

(Machsus y otros, 2019) en su investigación “Utilization of Plastic Bottles Waste in Asphalt Concrete Mixture”, cuya finalidad fue estudiar el impacto que puede causar el PET con respecto a los parámetros Marshall para diseño de mezcla. Se añadieron porcentajes de 3%, 4%, 5%, 6% y 7% con respecto al peso del asfalto, dicho mezclado fue directamente con el asfalto en caliente y luego se agregan los agregados. Los resultados obtenidos fueron al 5.7% de asfalto y se logró obtener mejoras en donde los parámetros de diseño aumentaron tanto el flujo, los contenidos de

vacíos y vacíos minerales. Se concluye que los parámetros de diseño cumplen con lo establecido y que los resultados de calidad se respetaron y se siguieron de acuerdo a la normativa.

(Luque León, 2019) en su investigación denominada “Influencia de la incorporación de Tereftalato de Polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico - Juliaca, 2018”. La metodología desarrollada para la obtención del óptimo contenido de asfalto fue mediante un diseño de mezcla convencional para después modificarla y producir probetas cilíndricas en diferentes cantidades de PET triturado de 2.5 al 15% de acuerdo al peso del asfalto óptimo. Los resultados obtenidos dieron a conocer que el contenido de asfalto fue al 6%, mientras que el porcentaje de PET triturado es de 6.7% con respecto al peso de la muestra, dando así un suave mejoramiento en cuanto al comportamiento de dichos parámetros brindados en el EG-2013. Se concluye que se aumentó con respecto a la estabilidad se mejoró en 1.64% y con respecto a flujo disminuyó un 7.69%, pero si aumentó los vacíos de aire en un 17.5% con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

(Berrío Alzate, 2017) en su investigación denominada “Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo”. El objetivo fue diseñar el MAC con adición de PET. La metodología de análisis se basó en la determinación estabilidad y flujo, parámetros volumétricos, deformación plástica y ensayos de módulo resiliente. Se determinó como resultado, un contenido de PET al 1% y un contenido de asfalto al 5.3%, cuyo tamaño ideal de plástico triturado fue 0.5mm a 2mm. Se concluye el diseño de mezcla modificada cumple con las especificaciones técnicas de estabilidad Marshall y mejora con respecto a la mezcla asfáltica patrón un 13.46% y el flujo aumentó un 3%.

(Aimacaña Iza & Paredes Sandoval, 2017) en su “Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales”, el proyecto realizado fue basado con la metodología Marshal. El objetivo general fue estudiar el comportamiento de resistencia y deformación de la mezcla con

incorporación de polímero. De acuerdo a la metodología Marshall, ésta empleó tres porcentajes de plástico triturado, al 1%, 2% y 3% con medidas de 0.6mm- 15mm. Se obtuvo como resultado un óptimo contenido de plástico triturado al 1%. Se concluye que la comparación con la mezcla tradicional y la mezcla modificada reduce la estabilidad en un 16,36%, el flujo en un 15,90% y el contenido de vacíos en un 25%; sin embargo, estos resultados están dentro de las especificaciones de diseño.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influyen las botellas de plástico reciclado al incorporarse como modificador de mezcla asfáltica para un tránsito pesado?

1.3. Hipótesis

El agregar las botellas de plástico trituradas como parte de la mezcla asfáltica para tránsito pesado, mejorará las propiedades y su comportamiento de acuerdo a lo indicado en el método Marshall.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Estudiar el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con botellas de plástico reciclado para un tránsito pesado.

Objetivos Específicos

- Obtener la caracterización física y mecánica de los agregados pétreos para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- Estimar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico al 4.5, 5, 5.5, 6 y 6.5%. con adición de PET

al 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5%.

- Determinar los parámetros físicos y mecánicos de la mezcla asfáltica en caliente patrón y de la mezcla modificada.
- Calcular el porcentaje de diferencia de estabilidad y flujo de la nueva mezcla asfáltica con respecto a la mezcla asfáltica patrón.

1.5. Teorías relacionadas al tema

1.5.1. Mezclas asfálticas

También llamadas aglomerados, compuestas por materiales pétreos gruesos y finos lo cual conforma un 90%, un 5% de ligante bituminoso más otros 5% de polvo mineral, cuya función es resistir las cargas de tránsito, accionadas por los neumáticos de los vehículos y así transmitir las en la estructura del pavimento, estas son construidas en centrales fijas o móviles, para luego ser llevadas a obra donde luego serán compactadas. Usualmente las mezclas asfálticas son aplicadas en carreteras, aeropuertos, pavimentos urbanos, etc (Padilla Rodríguez, 2004).

1.5.1.1. Clasificación de Mezcla Asfáltica

Según (Padilla Rodríguez, 2004) clasifica a la mezcla asfáltica de acuerdo a su clasificación por parámetros:

A. Por partes de material pétreo en el diseño:

- **Masilla asfáltica:** Compuesto por ligante bituminoso y polvo mineral.
- **Mortero asfáltico:** Combinación del ligante bituminoso con polvo mineral más el agregado fino.
- **Concreto asfáltico:** Aleación del ligante bituminoso con polvo mineral más el agregado fino más el agregado grueso más mortero.

- **Macadam asfáltico:** Mezcla del ligante bituminoso y el material grueso.

B. Temperatura de colocación:

- **Mezcla de asfalto caliente:** Esta mezcla, se desarrolla calentando todos los componentes, los materiales gruesos, finos y el asfalto a una temperatura alrededor de 150°C, se debe mantener la temperatura para su correcta colocación.
- **Mezcla de asfalto frío:** Esta mezcla se emplea en emulsión asfáltica y su colocación es a temperatura ambiental.

C. Por relación de vacíos en mezcla:

- **Mezcla Densa:** Aplicable en pavimentos de tránsito elevado, posee una óptima durabilidad, dado que su contenido de vacíos es inferior a 6%.
- **Mezcla Semi-densa:** Estas poseen menor cantidad de asfalto, ya que el porcentaje de vacíos se encuentra entre 6 % y 10 %.
- **Mezcla Abierta:** En este tipo de mezcla el agregado que lo conforma es mal graduado donde el porcentaje de vacíos está por encima del 12 %.
- **Mezcla Porosa:** Usualmente son aplicables en drenes, estas cuentan con un contenido de vacíos por encima del 20 %.

D. Por tamaño máximo del material pétreo:

- **Mezcla Gruesa:** Posee un tamaño por encima de los 10 mm.
- **Mezcla Fina:** Conformado por material granular fino, polvo mineral y ligante asfáltico, cuyo tamaño máximo del agregado pétreo señala el espesor mínimo para el diseño.

E. Por su granulometría:

- **Mezclas Continuas:** Su composición está conformada por distintas dimensiones de agregado en su gradación.
- **Mezclas Discontinuas:** La proporción de agregado mineral en la gradación es limitada.

1.5.1.2. Características de la MAC

(Asphalt Institute, 2014) define las siguientes caracterizaciones que posee la mezcla:

A. Estabilidad

Es la capacidad de una mezcla asfáltica para soportar las cargas generadas por el tráfico, con un diseño ideal basado en la fricción interna de los áridos y la obtención del contenido óptimo de asfalto.

B. Resistencia a la fatiga

Está basada en el comportamiento a las flexiones generados sobre la capa de rodadura por la cual transitan los vehículos reiteradas veces, causando grietas denominadas “piel de cocodrilo”, por ello es necesario aplicar mayor cantidad de asfalto para conseguir una mezcla asfáltica que se capaz de lograr esta propiedad, teniendo en cuenta que los agregados pétreos que se empleen en dicha mezcla cuenten con husos granulométricos bien graduados.

C. Impermeabilidad

Cuya responsabilidad es impedir que el agua superficial provoque infiltrase en la capa de rodadura, causando desprendimiento entre los áridos y la ligante bituminoso, así evitar la erosión de la estructura del pavimento y las deformaciones que estas pueden causar. Para lograr la impermeabilidad es necesario que exista suficiente asfalto en la mezcla para así obtener una fusión adhesiva con los agregados pétreos.

D. Durabilidad

Comportamiento que posee la mezcla para poder tolerar la descomposición de los agregados a causa de las cargas vehiculares, al envejecimiento del asfalto y la resistencia a la separación del ligante asfáltico adherido con los áridos que lo conforman.

E. Resistencia al deslizamiento

Suficiencia para disminuir el deslizamiento que se generan en los neumáticos de los vehículos cuando el pavimento se encuentra mojado, comúnmente llamado “hidroplano”, para

desarrollar esta propiedad es necesario que la carpeta asfáltica sea rugosa y que la mezcla sea de grado abierto, con agregados pétreo dentro del rango máximo de 3/8" a 1/2".

F. Trabajabilidad

Esta propiedad posee facilidad con respecto al manejo de la mezcla en su colocación y compactación. Se dice que las mezclas más trabajables a su vez son vulnerables a sufrir deformación permanente y así lograr disminuir su estabilidad. La temperatura es otro factor que pueda afectar su trabajabilidad y de esto depende de la porción de asfalto que vaya en la mezcla de diseño.

1.5.1.3. Componentes

Usualmente la mixtura se desarrolla en plantas de asfalto, las cuales se encargan de realizar la combinación del ligante asfáltico y los áridos.

A. Agregados pétreos

(Rodón Quintana & Reyes Lizcano, 2015), definen que los agregados pétreos se les considera a las gravas, arenas, finos o polvo mineral (filler), estos suelen proceder de la desintegración de las rocas, sean de manera natural o artificial, para luego ser triturados en diferentes tamaños, este material es utilizado en los procesos constructivos de mixtura asfáltica, en producción de concreto y en terraplenes. Para ser utilizados en mezcla asfáltica, estos agregados deben poseer calidad en cuanto a sus propiedades, ya que del 100% del material que conforma dicha mezcla, entre el 88% al 96% son los que cubren estos.

B. El asfalto

(Minaya Gonzáles & Ordóñez Huamán, 2006), dicen que de acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM), es un componente bituminoso, posee un color fosco y que suelen ablandarse con a una elevada temperatura y de acuerdo a esto depende la rigidez. El asfalto logra su estado sólido a una temperatura ambiente, mientras que a mayores temperaturas su estado es líquido.

El cemento asfáltico es el que mayormente se emplea en pavimentos urbanos o en carreteras, estos suelen ser colocados en caliente, a 135°C, el cual al mezclarse con los agregados pétreos logran una fácil adherencia, este cemento asfáltico ayuda a que el pavimento sea capaz de contrarrestar daños químicos y permite lograr la impermeabilidad.

1.5.2. Agregados minerales

1.5.2.1. Clasificación de los áridos

(Torre C., 2004), indica que hay diferentes maneras de clasificar a los áridos:

A. Por su origen

- **Naturales:** Estos áridos son provenientes de la explotación de fuentes naturales como acumulación de arrastres fluviales las cuales son las gravas, arenas de río y de canteras de rocas y piedras naturales.
- **Artificiales:** Estos áridos son más ligeros o pesados que los comunes, son conseguidos a través de productos y procesos industriales, como arcillas expandidas, Clinker, entre otros.

B. Por el Tamaño del Agregado

- **Árido fino:** Material que pasa el tamiz de 3/8" y se retienen en la malla N° 200, ejemplos de estos agregados son la arena.
- **Árido grueso:** Materiales que se retiene en la malla N°4, estas proceden de la disgregación de las rocas, usualmente suelen ser la piedra chancada y grava.
- **Hormigón:** Está formado por arena y grava, combinado de manera arbitraria, usualmente lo encontramos naturalmente en la tierra y se utiliza tal cual se extrae.

1.5.2.2. *Propiedades de los agregados*

A. *Propiedades físicas*

- **Densidad:** Es una propiedad muy importante para la mezcla asfáltica o concreto de alto o bajo peso unitario, donde una baja densidad quiere decir que el agregado es poroso, débil y tiene elevada absorción, de ello depende la gravedad específica de sus componentes sólidos y de la porosidad del material propio.
- **Porosidad:** Es importante, debido a ayuda en otras propiedades, tales como: estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica, elasticidad, gravedad específica, absorción y permeabilidad.
- **Peso Unitario:** Se obtiene luego de dividir el peso de las partículas entre el volumen total considerando los vacíos, estos valores son importantes para poder transformar de peso a volumen o, al contrario. Un agregado grueso con peso unitario alto, quiere decir que existen muy poco contenido de vacíos.
- **Contenido de Vacío:** Es el espacio que existen entre las partículas del árido, esto depende en cómo se acomodan las partículas cuyo valor es relativo, esta propiedad según el ASTM C 29 se expresa así:

$$\%vacios = \frac{SxW - P.U.C}{SxW} x100 \dots (1)$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

- **Humedad:** Agua superficial atrapada en el agregado, la cantidad de agua:

$$\%humedad = \frac{Peso\ natural - Peso\ seco}{Peso\ seco} x100 \dots (2)$$

B. Características Resistente

- **Resistencia:** Esta propiedad depende de la formación, textura y de la estructura del agregado, la resistencia del concreto no puede ser mayor al del agregado.
- **Tenacidad:** Propiedad relacionada con la resistencia a la carga.
- **Solidez:** La dureza del agregado proviene de la resistencia al desgaste.
- **Módulo elástico:** Medida en como resiste el material a la deformación.

C. Características Térmica

- **Coefficiente de expansión:** Esta propiedad mide el incremento del tamaño de los agregados con respecto a la temperatura, suele depender de la composición y estructura interna de la roca, esto cambia de acuerdo a los tipos de roca.
- **Calor específico:** Cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura, usualmente no varían demasiado en las diversas rocas, salvo en agregados livianos y porosos.
- **Conducción térmica:** Esta propiedad tiene la facilidad para dirigir el calor, en donde la porosidad influye en la variación relativa.
- **Difusividad:** Es la velocidad en la que se ocasionan las variaciones térmicas en un cuerpo de la partícula.

D. Características Química

- **Reacción Alkali-Sílice:** En el cemento estos están formados por Na_2O y K_2O los cuales a una temperatura y humedad son capaces de responder a diferentes minerales, generando un gel expansivo, esta acción ocurren cuando se tiene contenidos de álcalis de 0.6% a 30 °C y humedad absoluta de 80% y para que lograse apreciarse la respuesta es a un tiempo de 5 años.
- **Reacción Alkali-carbonatos:** Esta reacción es producida por la acción de carbonatos en los agregados produciendo sustancias expansivas. Para evaluar esta reacción es a través de la norma ASTM C-586.

1.5.3. El Asfalto

1.5.3.1. Clasificación del Asfalto

Según (Minaya Gonzáles & Ordóñez Huamán, 2006) clasifican al asfalto de acuerdo al requerimiento en que este se aplique y lo señala de la siguiente manera:

A. Cemento asfáltico

Material que posee propiedades adhesivas cuyo color es pardo oscuro, que obtiene su estado líquido al calentarse y logra su estado sólido a temperatura ambiente, este material es obtenido por la refinación del petróleo, donde el petróleo a una temperatura elevada tiende a derivarse en solventes livianos y solventes pesados, los cuales aparte de aumentar la temperatura, son sometidos a vacío, donde luego se obtiene el cemento asfáltico, son usados para hacer asfalto en caliente para vías urbanas o carreteras.

B. Asfaltos diluidos

Es la combinación del cemento asfáltico con un solvente liviano:

B1. Curado Rápido (RC)

Cemento asfáltico combinado con gasolina, se logra obtener asfalto de curado rápido, cuyos usos son los siguientes:

- Preparación de mezcla asfáltica en frío
- Riego de imprimación
- Riego de adherencia
- Riego de liga
- Estabilización de suelos
- Tratamiento superficial
- Lechadas asfálticas

B2. Curado Medio (MC)

Cemento asfáltico combinado con kerosene, se logra obtener asfalto de curado medio, cuyos usos son los siguientes:

- Imprimaciones de suelos.
- Lechados Asfálticos
- Riego de Liga
- Tratamiento Superficiales
- Estabilización de suelos

B3. Curado Lento (SC)

Cemento asfáltico combinado con Diesel, se logra obtener asfalto de curado lento.

C. Emulsión asfáltica

Se obtiene cuando el asfalto se mezcla con agua más un agente emulsificador, estas son clasificadas en aniónicas y catiónicas.

D. Asfaltos modificados

Estos son modificados a base de polímeros tales como termorígidos, termoplásticos, elastómeros y elastómeros termoplásticos, cuya finalidad es ser suficientemente flexible a temperaturas menores, para así contrarrestar agrietamientos térmicos y resistentes a la deformación.

1.5.4. Condiciones volumétricas de Mezcla

El (Instituto Mexicano del Transporte, 2004) definen las condiciones volumétricas los cuales describen a detalle la composición de la mezcla, ya que de ellos dependen distintos procesos de diseño de mezcla, entre ellos tenemos:

A. Gravedad específica neta del agregado (G_{sb})

Es la proporción de masa en el aire de volumen del material permeable con incorporación de vacíos permeables e impermeables, a una temperatura dada para la mezcla asfáltica y una masa con densidad de volumen igual al agua destilada, con igual temperatura.

Es importante determinar la gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada, ya que nos ayuda a conocer las propiedades volumétricas de las mismas, de igual forma el contenido de vacíos de aire, de agregado y con asfalto.

Cuando el total de agregado tiene fracciones separadas del agregado grueso, fino, y filler, cada uno tiene su propia gravedad específica, la G_{sb} se determina de la siguiente manera:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}} \dots (3)$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total

P_1, P_2, P_N = Porcentajes individuales por masa de agregado

G_1, G_2, G_N = Gravedad específica neta individual del agregado

B. Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se})

Proporción entre la masa en el aire de volumen de material permeable sin incluir los vacíos permeables del asfalto a una temperatura dada para la mezcla asfáltica y una masa al aire de igual densidad de volumen que el agua destilada a la misma temperatura.

Al basarse en la G_{mm} de la mezcla asfáltica, la G_{se} introduce todos los vacíos de las partículas del agregado, menos los que absorben asfalto, se determina de la siguiente manera:

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots (4)$$

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_{mm} = Gravedad específica máx. de la mezcla asfáltica sin vacíos

P_{mm} = Porcentaje de masa total de la mezcla suelta = 100

G_b = Gravedad específica del asfalto

La cantidad de volumen de asfalto que absorbe el agregado es mayormente menor que la cantidad de agua absorbida. Se dice que el valor de G_{se} debe estar entre su gravedad específica neta y la gravedad específica aparente, si la G_{se} se encuentra fuera de dicho caso, el resultado se debe tomar como equivocado y se procede a inspeccionar la composición de agregados en la mezcla y ver el error.

C. Gravedad específica máxima (G_{mm})

Determinar la G_{mm} para cada contenido de asfalto y así lograr obtener el porcentaje de vacíos de aire para cada uno de estos. Luego de determinar la G_{se} para cada G_{mm} obtenida, promediando los resultados de la G_{se} , la G_{mm} para diferentes contenidos de asfalto se desarrolla mediante esta ecuación, donde la G_{se} es constante y se comprueba debido a que la absorción del asfalto es insignificante con respecto a distintos contenidos de asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots (5)$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica máx. de la mezcla asfáltica sin vacíos

P_{mm} = Porcentaje de masa total de la mezcla suelta = 100

P_b = Contenido de asfalto porcentaje total de la masa de mezcla

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_b = Gravedad específica del asfalto

D. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Son expresados en porcentajes de volumen de mezcla asfáltica compactada, ese vacío se encuentra ubicado en las partículas del agregado en la mezcla compactada. Este parámetro

volumétrico es calculado sobre la base de la G_{sb} , restando la cantidad de agregado y G_{mb} . Se calcula con la siguiente ecuación:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots (6)$$

Donde:

VMA = Porcentaje de vacíos en el agregado mineral

G_{sb} = Gravedad específica neta del total de agregado

G_{mb} = Gravedad esp. neta de la mezcla asfáltica compactada

P_s = Contenido de agregado, % total de la masa de la mezcla asf.

E. Vacíos de aire (V_a)

Son expresados en porcentajes, este contenido de aire atrapado, se ubica entre las partículas del agregado, se determina de la siguiente manera:

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots (7)$$

Donde:

V_a = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada

G_{mm} = Gravedad específica máx. de la mezcla asfáltica sin vacíos

G_{mb} = Gravedad esp. neta de la mezcla asfáltica compactada

P_s = Contenido de agregado, % total de la masa de la mezcla asf.

F. Vacíos llenados con asfalto (VFA)

Son expresados en porcentajes de volumen de la mezcla asfáltica compactada, estos vacíos entre los agregados se cubren por asfalto sin contar el asfalto que es absorbido, se calcula de la siguiente manera:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA} \dots (8)$$

Donde:

$VFA =$ Porcentaje de vacíos llenados con asfalto

$VMA =$ Porcentaje de vacíos en el agregado mineral

$Va =$ Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada

G. Absorción del asfalto (P_{ba})

Es expresada en porcentaje de la masa del agregado, esta absorción se calcula de la siguiente manera:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \times G_b \dots (9)$$

Donde:

$P_{ba} =$ Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

$G_{se} =$ Gravedad específica efectiva del agregado

$G_{sb} =$ Gravedad específica neta del total de agregado

$G_b =$ Gravedad específica del asfalto

H. Contenido de asfalto efectivo (P_{be})

Este contenido es el asfalto total de la mezcla, más no el porcentaje de asfalto extraviado por absorción en los agregados. El contenido de asfalto en la capa exterior del agregado actúa en la mezcla asfáltica. Se calcula de la siguiente manera:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \dots (10)$$

Donde:

$P_{be} =$ Contenido de asf. efectivo, % de masa total de la mezcla

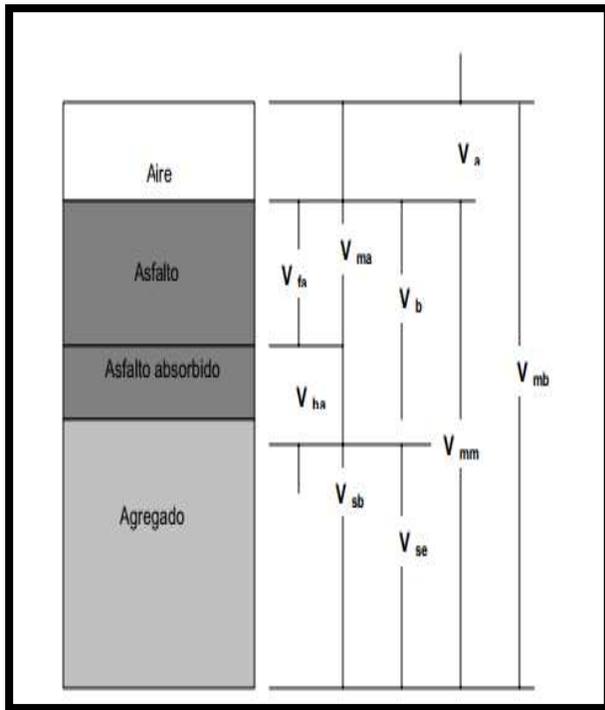
$P_b =$ Contenido de asfalto, porcentaje de masa total de la mezcla

$P_{ba} =$ Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

$P_s =$ Contenido de agregado, % total de la masa de la mezcla asf.

Figura 1

Composición de mezcla asfáltica



Nota. Este gráfico representa la composición de la mezcla asfáltica. Tomado del *Instituto Mexicano del Transporte* (p.19), 2004. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt246.pdf>

Donde:

V_{ma} = *Volúmen de vacíos en agregado mineral*

V_{mb} = *Volúmen total de la mezcla asfáltica*

V_{mm} = *Volúmen de la mezcla asfáltica sin vacíos*

V_{fa} = *Volúmen de vacíos llenados con asfalto*

V_a = *Volúmen de vacíos de aire*

V_b = *Volúmen de asfalto*

V_{ba} = *Volúmen de asfalto absorbido*

V_{sb} = *Volúmen de ag. mineral (gravedad esp. de la masa)*

V_{se} = *Volúmen de ag. mineral (gravedad esp. efectiva)*

1.5.5. Pruebas volumétricas

El Instituto Mexicano del Transporte (Instituto Mexicano del Transporte, 2004) considera que el desempeño de mixtura es de acuerdo a las cantidades volumétricas de materiales que estos lo conforman. Las pruebas que más predominan en la obtención de resultados de volumetría son los siguientes:

A. Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada (G_{mb})

Este parámetro es necesario para obtener el nivel de densificación que alcanzará la mezcla asfáltica empleada en la estructura del pavimento. Esta densificación es un estimado al valor luego de haberse colocado en el pavimento, ya que la transitabilidad vehicular hace que aún siga densificándose la mezcla.

La gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada es la relación del peso en el aire y su volumen, incluidos los vacíos permeables. Se debe considerar que la probeta tenga una absorción menor a 2% para que no sea necesario parafinar la muestra. Este parámetro se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w} \dots (11)$$

Donde:

W_a = Masa de la probeta en el aire

W_w = Masa de la probeta en el agua

W_{ss} = Masa en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca

B. Gravedad teórica máxima de la mezcla asfáltica (G_{mm})

Esta prueba se considera una de las más significativas para determinar las características volumétricas de la mezcla asfáltica, ya que habiendo determinado el volumen de vacíos es la proporción entre G_{mb} y el G_{mm} . Este ensayo se realiza con un picnómetro de vacíos o con el matraz de laboratorio en donde la mezcla suelta se satura en agua y con el equipo se quita el aire atrapado entre las partículas. Esta prueba se determina mediante la siguiente ecuación:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C} \dots (12)$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca en g.

B = Masa del picnómetro con agua a 25 °C en g.

C = Masa del picnómetro con agua y muestra a 25 °C en g.

1.5.6. Método Marshall

De acuerdo con el (Asphalt Institute, 2014) este método es empleado a nivel mundial para diseño de pavimentos flexibles, es aplicable solo para mezclas asfálticas en caliente, en donde en una sola gradación de agregados seleccionados, se introducen 5 distintos contenidos de asfalto, para probar los parámetros volumétricos y resistencia, así obtener el óptimo contenido de ligante asfáltico. Se deben tomar 3 muestras compactadas para así lograr tener resultados y promediarlos. El óptimo contenido de ligante asfáltico se obtiene con respecto al tráfico, clima y el comportamiento de los materiales utilizados. Usualmente el contenido óptimo de asfalto está en un 4% de contenido de vacíos de aire.

1.5.6.1. Normas aplicables

- ASTM D6926, "Diseño de mezcla bituminosa empleado el equipo Marshall".
- ASTM D6927, "Prueba estándar de estabilidad y flujo Marshall"
- AASHTO T 245, "Resistencia al flujo plástico empleando el equipo Apparatus en la mezcla asfáltica".

1.5.6.2. Esquema del método

Este método emplea unas probetas estandarizadas de 63.5 mm que equivale (2 ½ pulgadas) de altura y posee un diámetro de 101,6 mm (4 pulgadas). El procedimiento para seguir

es preparar las probetas cilíndricas en donde se tendrá que calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica. El procedimiento Marshall se obtendrá la gravedad específica, contenido de vacío, prueba de resistencia y deformación. Luego de desarrollar las probetas se analiza con respecto a la estabilidad, la cual es la máxima resistencia a la carga en Newtons, la prueba estándar se desarrolla a 60 °C.

La deformación total, se mide en centésimas de pulgada (0.01”) las cuales se producen en la probeta debido a la ausencia de carga y la carga máxima desarrollada en el ensayo de estabilidad.

1.5.6.3. Disposición de las muestras de ensayo

Después de calcular el óptimo contenido de bitumen, realizar ensayos para cada adición de asfalto, en los cuales se realizan curvas bien definidas, en donde el contenido de asfalto incrementa cada 0.5%, mínimo se debe elaborar 2 contenidos de asfalto por encima del valor estimado de diseño y otros 2 por debajo de este.

El contenido óptimo asfalto, se podría calcular mediante experiencias, fórmula computacional o también se podría estimar aproximadamente con una equivalencia del porcentaje del agregado en su gradación final del porcentaje que pasa la malla No. 200. La ecuación computacional se da mediante la siguiente ecuación:

$$P = 0.035 a + 0.045 b + Kc + F \dots (13)$$

Dónde:

P = % Bitumen ideal

a = % Árido que retiene tamiz (No. 8)

b = % Árido que pasa tamiz (No. 8) y se retiene en tamiz (No. 200)

c = % Árido que pasa tamiz (No. 200)

$K = 0,15$ para el 11-15 % que pasa la malla (No. 200) $0,18$ para 6-10 % pasando (No. 200), $0,20$ para 5 % pasando la malla (No. 200)

$F = 0 - 2$ % para áridos livianos o pesados, no se precisan datos se estima $0,7$.

El porcentaje de bitumen se calcula realizando tres pruebas para cada uno de los contenidos de asfalto seleccionado. Normalmente emplean 5 contenidos de asfalto lo cual formaría 15 muestras a realizar de la cuales se utiliza 1.20 kg de agregado para cada muestra.

1.5.6.4. Equipos a utilizar

- Recipiente metálico para el calentado de áridos.
- Recipiente metálico redondo para realizar la mezcla con capacidad de 4 litros.
- Horno.
- Pala para realizar la dosificación de los agregados.
- Recipiente o cacerola para calentar el asfalto.
- Termómetro que alcance temperaturas de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $235\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Balanza que tenga la capacidad de 5kg, con sensibilidad a 1g.
- Cuchara grande
- Espátula
- Pedestal para compactación, el cual contiene una dimensión de 200 x 200 x 460 mm.
- El molde de compactación, debe estar formado por placa base y la extensión del collar.
- El martillo compactador, cuenta con un diámetro de 98.4 mm, cuyo peso de 10 lb (4.5kg).
- Soporte para molde
- Hoja de papel con diámetro 100 mm (4 pulgadas)
- Extractor de muestras de acero
- Guantes para soldador, especialmente para utilización a altas temperaturas.

1.5.6.5. Procedimiento de ensayo

- Primero se deben preparar 3 muestras para cada contenido asfalto.
- Preparar los agregados, secar a una temperatura dentro de 105 °C a 110 °C y luego realizar la granulometría de los áridos en seco.
- Compactar la mezcla, en donde la viscosidad del ligante asfáltico debe estar en 170 ± 20 y 280 ± 30 centistokes de temperatura de mezclado. Las temperaturas se representan dentro de un gráfico de viscosidad vs temperatura.
- Luego preparar los moldes y el maso compactador, en donde primero se debe limpiar para así luego proceder a calentar a una temperatura que oscila entre 95 a 150 °C.
- Preparar la mezcla, previamente pesadas en cacerolas separadas de cada muestra, para así luego poder compactar cada prueba de 63,5 ± 1,27 mm de altura, en donde cuyo peso abarca normalmente 1.2 kg (2.7lb). Es recomendable preparar una muestra de modelo para verificar que la altura del espécimen se encuentre dentro de los límites de altura, y poder ajustar la masa de los agregados (M.A.A) ideales para cada probeta, desarrollando el Sistema Internacional de Unidades (SI).

$$M.A.A. = \frac{63.5 \times (\text{masa del árido utilizado})}{\text{Altura de muestra obtenida (mm)}} \dots (14)$$

Para el Sistema de Unidades EE. UU

$$M.A.A. = \frac{2.5 \times (\text{masa del árido utilizado})}{\text{Altura de muestra obtenida (pulgadas)}} \dots (15)$$

- Colocar los recipientes metálicos al horno a una temperatura no superior a 28 °C, luego cargar el recipiente para mezclado de agregados en seco. Mezclar el agregado seco y pesarlo de acuerdo con la cantidad sugerida de asfalto con respecto a la temperatura explicada el paso (c). El ligante asfáltico debe estar a su temperatura para así poder realizar el mezclado del árido con el bitumen, es recomendable que la mixtura se realice de manera uniforme, puesto que el Instituto del Asfalto recomienda que se emplee la norma AASHTO R

30.

- Se deberá agregar un filtro de papel que tenga la capacidad de no absorber, el cual deberá tener la medida del fondo del molde, luego colocar el molde en el cuello para así poder remover la mezcla con una espátula caliente, moviendo la mezcla más de 15 veces en el perímetro y 10 veces sobre el interior de la muestra.
- Realizar la compactación de las probetas, colocando un filtro de papel sobre la mezcla y el molde de acero en el apoyo de compactación. La compactación depende al tipo de tránsito al que se le aplique, de los cuales los golpes son los siguientes: 35, 50 y 75 golpes, con caída a 45.7 cm perpendicular al molde. Luego retirar la placa base, el collarín y el filtro de papel, para así poder dejar enfriar la muestra, después con la ayuda de una gata de extrusión de compresión, para después colocarla en una superficie nivelada para luego proceder con los demás ensayos.

1.5.6.6. Procedimiento de prueba

- Determinar la altura de la muestra.
- Determinar de la gravedad específica a granel.
- Analizar la gravedad específica y el contenido de vacíos.
- Realizar la prueba de estabilidad y flujo.

1.5.6.7. Prueba de Marshall

A. Equipo para elaboración de ensayo estabilidad y flujo

Este equipo es empleado para briquetas de 4" de diámetro, con altura de espécimen de 2½", el equipo de compresión de prueba Marshall está ligada a la normativa ASTM D6927, el cual tiene la función de aplicar cargas sobre las probetas por medio de cabezales de prueba con segmento cilíndrico. Este posee dos postes guía perpendicular que sirven para mantener la posición horizontal y el movimiento vertical en el tiempo de prueba, de igual forma lleva un anillo

calibrado el cual ayuda a determinar la carga aplicada, el cual cuenta con un el cabezal para estabilidad Marshall y un caudalímetro para la prueba de flujo que contiene un dispositivo con registro automático para la obtención de la deformación con respecto a la carga máxima.

Para el baño maría, este debe poseer una mínima profundidad de 150 mm y se deberá controlar a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, en donde el depósito deba cumplir con un fondo falso perforado o debe ser implementado y así colgar las muestras a una altura mínima de 0.50 cm.

B. Procedimientos para estabilidad y flujo

- Calcular la altura de muestra.
- Sumergir la muestra en agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 30 o 40 minutos.
- Es recomendable emplear un instrumento de grabación o emplear un anillo y equipo medidor de deformación. Un caudalímetro se debe colocar sobre la guía marcada y colocar en cero el caudalímetro, a la vez sostener contra el segmento superior del cabezal de prueba al realizar el impacto.
- Luego de limpiar la superficie interna del cabezal de prueba, este cabezal se tiene que mantener a una temperatura de 21.1 a 37.8°C y sumergir en agua si es que requiere. Las varillas guía deben ser lubricadas con una poco de aceite, para que así el cabezal superior logre deslizarle cómodamente, en el caso se emplee un anillo para cuantificar la carga aplicada, se debe corroborar que el índice se encuentre firme y con marcación a cero, en su estado sin carga.
- Después de tener el equipo listo, se debe retirar las muestras que fueron sumergidas en un baño de agua y secarlas de manera cuidadosa con una toalla. Luego se debe colocar la muestra en el cabezal de prueba y ser centrado, para así ajustar la parte superior, después colocar el caudalímetro sobre la varilla guía como se hace referencia en procedimiento (c).
- La velocidad de deformación que se debe aplicar es 51 mm (2") por minuto, con el fin de desarrollar el punto de fallo que se consigue el soporte máximo desarrollado, cuya fuerza es

expresada en (N), en donde se podrá determinar la estabilidad Marshall tras la fuerza generada.

- Por otra parte, al tiempo que se está desarrollando la prueba de estabilidad, cuantificar la deformación fija sobre la varilla guía y retirar de manera rápida cuando la carga descienda, se debe tomar la lectura y ser registrada, cuyo resultado es el valor de deformación del espécimen.
- Las mediciones estabilidad y flujo, desde la muestra en el baño a maría, requiere un tiempo de 30 segundos.
- La estabilidad Marshall se modifica cuando existan muestras con altura diferente a 63.5mm.

C. Importancia del ensayo de estabilidad y flujo

Al hablar de estabilidad, nos referimos a la carga de resistencia máxima obtenida de una tasa constante de deformación y cuando hablamos del flujo Marshall estamos hablando de la deformación elástica plástica de la muestra.

La zona inferior de estabilidad Marshall versus la curva de flujo Marshall muestran la irregularidad en la superficie de la muestra llena. El flujo Marshall debe comprobarse haciendo una diferencia entre la porción de flujo en el tiempo de asentamiento de la muestra y para realizar la lectura correcta de flujo, se señalará una línea tangente, anotando dos puntos de la curva estabilidad-flujo.

Cuando en el eje x se da el inicio de flujo Marshall, no es útil realizar alguna corrección al realizar anillo y medidor de flujo en cero, en un disco de metal calibrado de 4”.

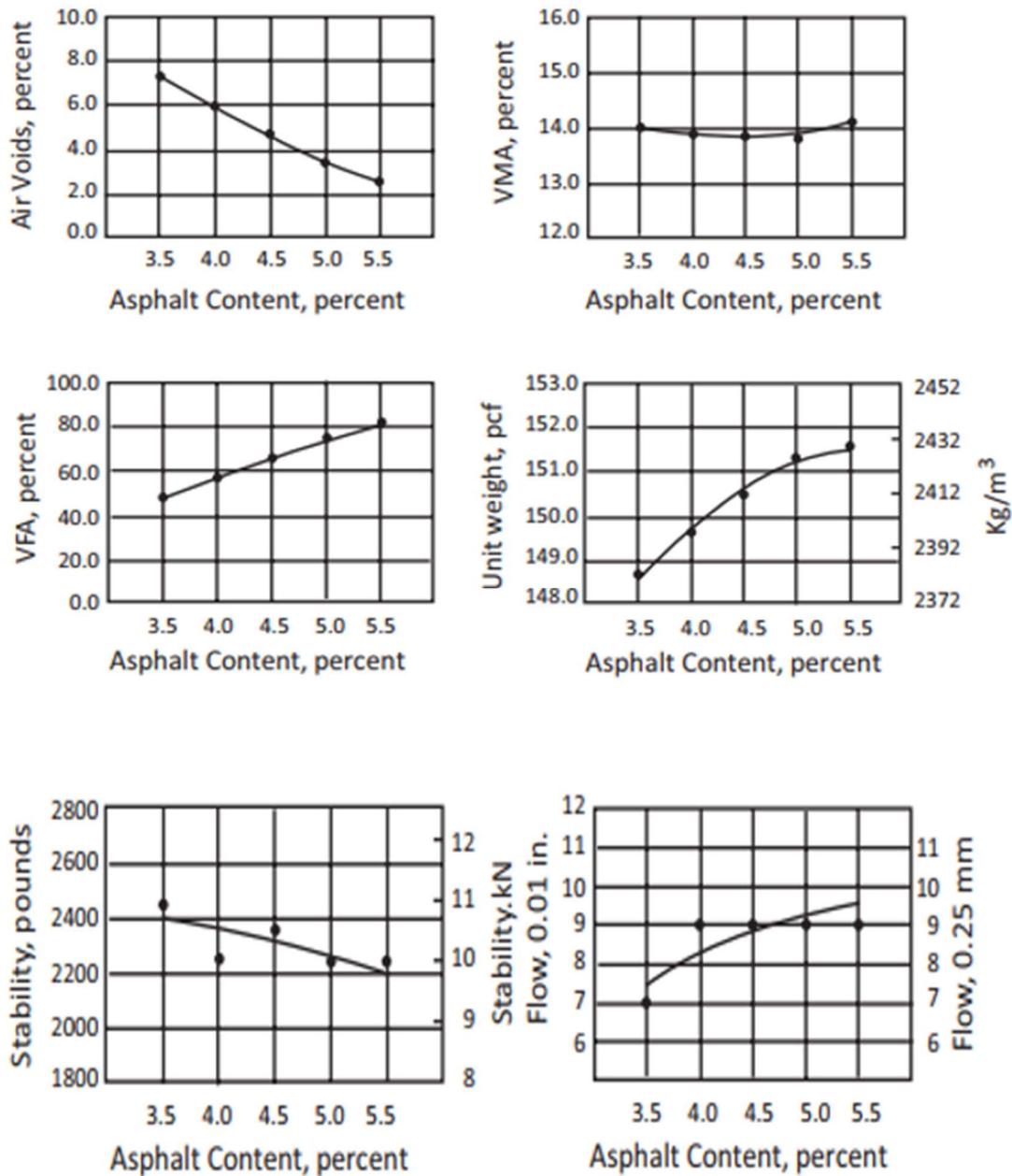
Si en el ensayo de flujo el óptimo contenido de asfalto es superior al límite superior especificado, la mezcla cuenta con demasiada plasticidad e inestabilidad, en cambio si el flujo se encuentra por debajo del límite inferior se considera mezcla frágil.

D. Análisis de densidades y vacíos

- Obtener el peso unitario promedio para cada contenido de asfalto, el cual se determina multiplicando el volumen promedio y la gravedad específica para cada densidad del agua (1.000 kg/m^3)
- Calcular el máximo teórico específico (G_{mm}) normado por ASTM D2041.
- La G_{se} y la G_{sb} , hacer un promedio de las densidades de la mezcla compactada anteriormente, calculando el P_{ba} por el peso seco del agregado, P_a , los contenidos con huecos en el agregado mineral *VMA*.

Figura 2

Curvas de propiedades de prueba para datos de diseño de mezcla en caliente mediante el método Marshall



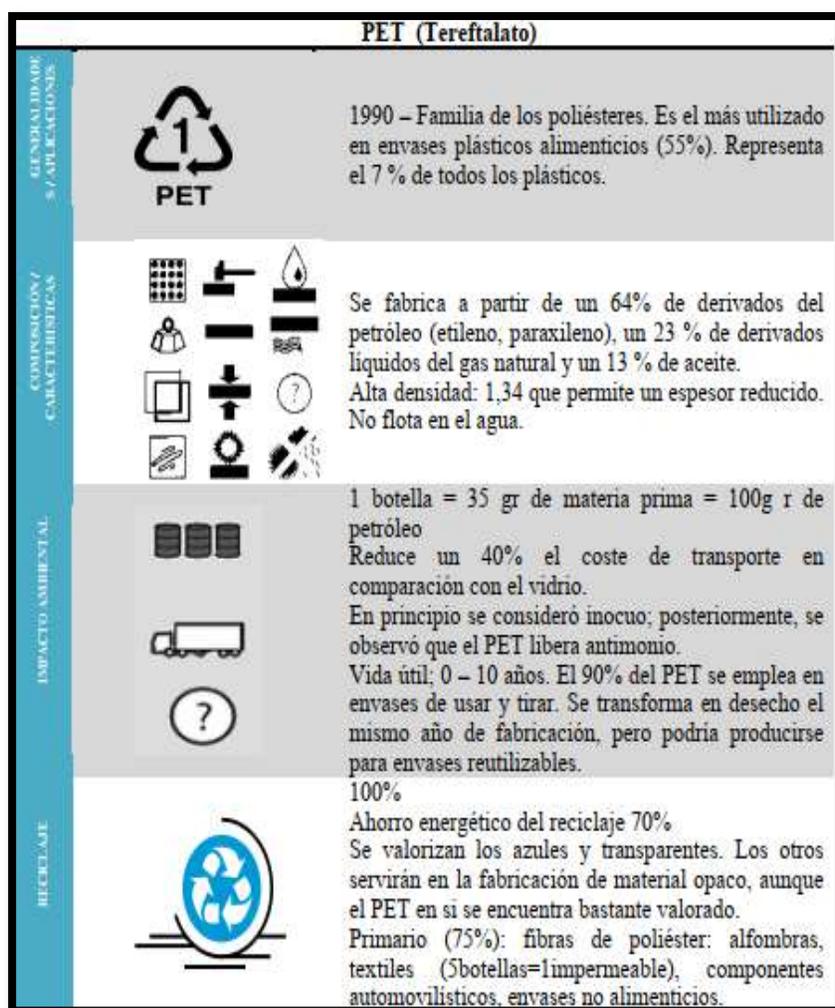
Nota. Estos gráficos representan los datos de diseño de mezcla asfáltica en caliente. Tomado del Asphalt Institute (p.89), 2014. Asphalt Mix Design Methods.

1.5.7. Tereftalato de Polietileno (PET)

Es un polímero termoplástico que es utilizado industrialmente, donde un 70% cubren en fibras sintéticas. Con este polímero se desarrollan cuerdas para llantas, artículos de textiles, y mayormente para envases alimenticios. Este material producido debido a la polimerización del etilenglicol y ácido tereftálico (Suasnavas Flores, 2017).

Figura 3

Aspectos generales del PET



Nota. Este gráfico representa los aspectos generales del PET. Tomado de *Palma Guevara, H., & Tenesaca Campos, Fernanda Fabiola* (p.9), 2020. Estudio de la degradabilidad del PET (Polietileno Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao.

Este polímero, inició su desarrollo durante la guerra mundial en el año 1941 por J.R Whinfield y J.T Dickson con el fin de reemplazar la textilería por un nuevo material, ya que mayormente el material utilizado era algodón, y con este nuevo material desarrollado es la fibra de poliéster, ya en sus inicios del año 1980 el PET se emplea en la producción de envases, los cuales fueron aceptado en el mercado por los consumidores y que a lo largo de los años, estos aumentan de manera considerable por año. Este material es resistente a esfuerzos permanente y al desgaste, debido a que cumple con alta rigidez y dureza (Paredes y otros, 2020).

El PET, es un invento industrial de gran importancia en los últimos años debido a que cuenta con buenas propiedades, y su éxito en distintas aplicaciones. Actualmente existen grandes cantidades de desechos de PET alrededor del mundo (Ben Zair y otros, 2021).

1.5.7.1. Estructura química del PET

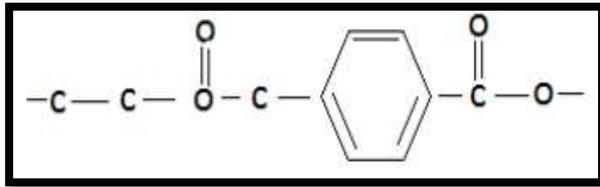
Este polímero termoplástico es semicristalino, compuesto por la reacción de polimerización de un alcohol y un ácido, posee baja permeabilidad con respecto a los gases y su comportamiento químico y térmico es estable. (Ben Zair y otros, 2021)

El polietileno es blando y su temperatura de fusión es baja, pero si hablamos directamente del PET, su cadena principal se encuentra dentro del grupo aromático, los cuales son voluminosos y polarizables, siendo capaces de aumentar su rigidez. El benceno que este contiene, aparte de aumentar la rigidez, da mayor resistividad química. (Suasnavas Flores, 2017)

Sus atracciones polares de los grupos carbonilo, dan como conclusión que estos materiales tienen resistencia a la tracción y el material más resistente de acuerdo a su gran número de moléculas poliméricas es el etilenglicol.

Figura 4

Estructura química del PET



Nota. Este gráfico representa la estructura química del PET. Tomado de *Suasnavas Flores, D.* (p.8), 2017. Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión.

1.5.7.2. Propiedades físicas y químicas del PET

De acuerdo a (Suasnavas Flores, 2017), el PET es un plástico que en ingeniería es uno de los materiales más empleados, por sus diferentes propiedades:

Figura 5

Propiedades físicas y químicas del PET

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Resistencia al ataque químico	Resistente a: combustibles, alcoholes, grasas, éteres ácidos y bases diluidas.
Solubilidad	Insoluble: solventes orgánicos Solubilidad en menor grado: solventes halogenados, aromáticos, cetonas, ácidos y bases fuertes.
Resistencia al envejecimiento	Buena resistencia: Temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad.
Estabilidad térmica	Estable a temperaturas < 71 °C Cristalizado estable a temperaturas < 230 °C
Permeabilidad	Excelente barrera al CO ₂ y O ₂
Densidad	Estado amorfo: 1.33 – 1.37 g/cm ³ Estado cristalino: 1.45 – 1.51 g/cm ³
Conductividad térmica	Buen aislamiento térmico: 0.24 W/ m x K
Absorción de agua	< 0.7 % durante 24 horas
Propiedades ópticas	Transmisión de luz: 89% Índice de refracción: 1.576
Propiedades biológicas	No presenta vulnerabilidad al ataque microbiológico

Nota. Este gráfico representa las propiedades físicas y químicas del PET. Tomado de *Palma Guevara, H., & Tenesaca Campos, Fernanda Fabiola* (p.10), 2020. Estudio de la degradabilidad del PET (Polietileno Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao.

A. Resistencia al ataque químico

Esta propiedad cede a la naturaleza del equipo funcional que forman los monómeros (molécula de pequeña masa) y la estructura que esta conforma. El Tereftalato de Polietileno posee resistividad química a alcohol, aceite, hidrocarburos, ácidos, etc.

B. Solubilidad

Este polímero en solventes orgánicos es insoluble, pero presenta solubilidad mayor o menor grado en los solventes como la cetona, alcohol de 4 a 8 carbono y compuestos clorados, solubles aromático, y cetona con mínimo peso molecular.

C. Resistencia al envejecimiento

Con el tiempo la masa plástica de PET se daña, por condiciones externas ya sea por temperatura ambiental, la radiación solar, la contaminación atmosférica, clima, entre otros. Estas condiciones externas podrían cambiar las propiedades estéticas, como el color, cambio en su dimensión y en cuanto a las propiedades mecánicas.

D. Estabilidad térmica

El cambio de temperatura a los 70 °C hace que el PET pierda propiedades, ocasionando cambio químico del peso plástico, produciendo así respuesta de disolución y rotura. La máxima temperatura que alcanzan el PET es a 71 °C, pero el PET que posee transparencia o cristalinidad puede resistir hasta 230 °C.

E. Permeabilidad

Este polímero posee una excelente propiedad de barrera contra el CO₂, al O₂ y a la humedad.

F. Densidad

Esta propiedad se relaciona de acuerdo a la productividad en la fabricación de plástico, ya que esto influye en el peso. En su estado amorfo existe una densidad que abarca entre el 1.33 y 1.37 g/cm³, pero en su estado de cristalización oscila en 1.45 a 1.51 g/cm³.

G. Conductividad térmica

El plástico es el material que posee excelente aislamiento térmico, en donde la cantidad de calor que transfiere un cuerpo se denomina conductividad térmica, el PET tiene un valor de 0.24 W/m x K.

H. Absorción de agua

Porción de agua que los plásticos retienen en su estructura luego de un periodo de tiempo en el ambiente húmedo, en donde el PET presenta una cantidad de agua menor de 0.7% en un periodo de 24 horas.

I. Propiedades ópticas

Estas propiedades se relacionan con la morfología y estructura del material, dentro de las principales tenemos: índice de refracción en donde el PET posee el 1.576 y el 89% en transmisión de luz, las contribuyen en turbidez, brillo y transparencia del material.

J. Propiedades biológicas

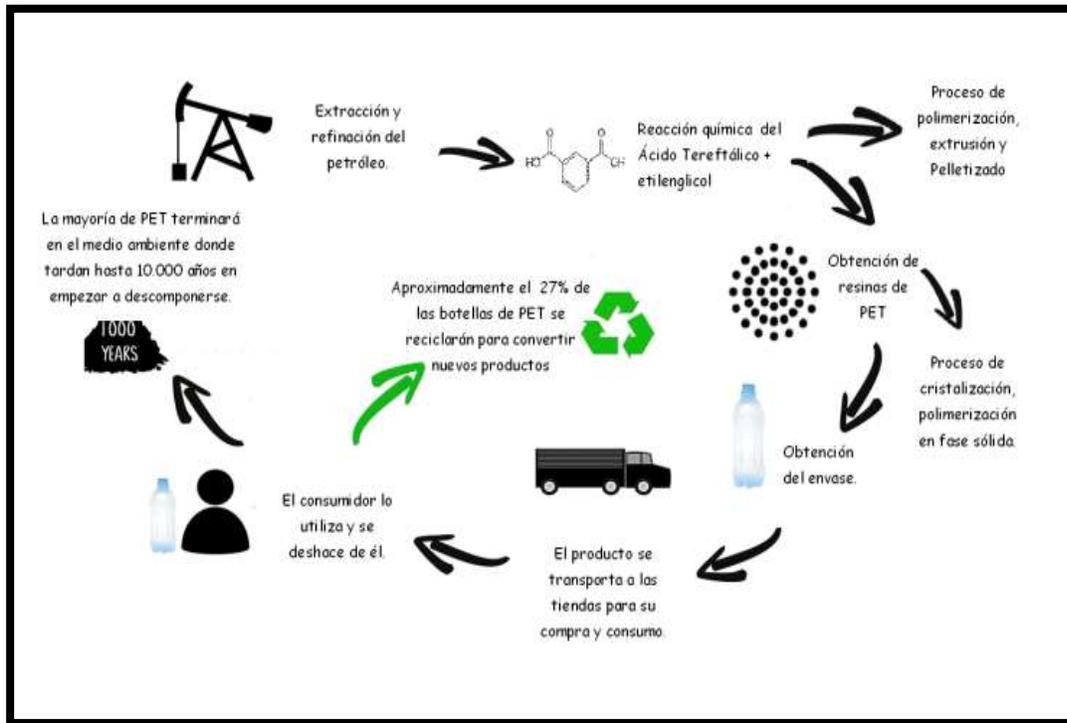
Este polímero al no biodegradable y al mantener sus características a lo largo del tiempo ya que el PET posee una gran vida útil, es capaz de resistir al ataque microbiológico y que no cuenta con mecanismos para ser atacado, no existen proliferación de bacterias, hongos y parásitos.

1.5.7.3. El PET y su ciclo de vida

El PET es un polímero maleable compuesto por medio de una reacción de polimerización del ácido tereftálico y etilenglicol, por otro lado, este es 100% reciclable, el cual tiene la facilidad de crear envases reutilizables, cuyo material es difícil de descomponer lo cual requiere de un proceso químico para la despolimerización (Palma Guevara & Tenesaca Campos, Fernanda Fabiola, 2020).

Figura 6

Ciclo de vida del PET



Nota. Este gráfico representa el Ciclo de vida del PET. Tomado de *Palma Guevara, H., & Tenesaca Campos, Fernanda Fabiola* (p.15), 2020. Estudio de la degradabilidad del PET (Polietileno Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao.

1.5.7.4. Residuos de tereftalato de polietileno (PET)

Hoy en día, el plástico es considerado importante dentro de los inventos industriales de la época, de los cuales solo el 60% del total de residuos plásticos, el PET ocupa la mayor parte de desechos plásticos (Abdalrhman Abraham y otros, 2020).

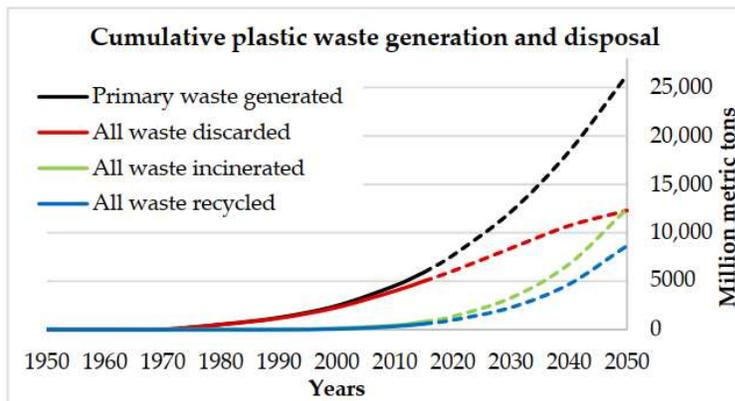
En la actualidad vivir sin plástico o polímeros orgánicos sintéticos es imposible. La fabricación de PET ha superado a muchos materiales hechos por el hombre, la gran preocupación ha sido el exceso de emisiones contaminantes de efecto invernadero que estos provocan. Los plásticos sintéticos en estos tiempos se componen de petróleo y gas natural, su

mayor demanda es en embalaje, cuya aplicación a aumentado rápidamente debido al cambio de reutilizar en productos de un solo uso, cuya proporción de plástico en masa de residuos sólidos urbanos en el periodo de 1960 al 2005 aumentaron del 1 al 10% en países con un ingreso económico alto y medio (Ben Zair y otros, 2021).

Cada año el consumo del PET se incrementa alrededor del 10%, y a su vez el volumen de estos residuos también aumenta. De acuerdo a sus características del PET, posee alta resistencia a la degradación en donde es importante crear opciones para el manejo de los residuos, entre ellos cabe trasladar los residuos plásticos en rellenos sanitarios, pero de acuerdo a la cantidad de desechos ya no es recomendable utilizar este medio (Elgegren Lituma, 2012).

Figura 7

Total, acumulado de plásticos producidos y eliminados



Nota. Gráfico que representa el total acumulado de plásticos producidos y eliminados con respecto a los años. Tomado de *Ben Zair , M., Mohd Jakarni, F., Muniandy , R., & Hassim , S.* (p.3), 2021. A brief review: Application of recycled polyethylene terephthalate in asphalt pavement reinforcement. Sustainability, 13(1303).

El PET actualmente representa un peligro medioambiental ya que no es biodegradable, los métodos que existen para eliminar los residuos de PET y otro polímeros son los rellenos sanitarios, la incineración a cielo abierto y el reciclaje, pero estas alternativas no ayuda al medio

ambiente, la acumulación de desechos de basura es la más simple y antigua que existe en el mundo, y pues la desventaja que este método posee, es la ocupación territorial, contaminación de aguas subterráneas y la acumulación insegura, el beneficio ambiental que ocasionaría el PET para la construcción de pavimentos, es la reducción de las emisiones y el uso del combustible, la reducción de la demanda de recursos no renovables, y el reducción del área de vertederos (Ahmad y otros, 2017).

En la Figura 7 se muestra el total acumulado de residuos plásticos producidos y eliminados desde el año 1950 al 2015, donde casi el 16% del total se ha reciclado hasta el 2015, y se estima que al 2050 el 33% de esos residuos podrán ser reciclados, si este pronóstico se hace realidad, la cantidad residuos plásticos habrá crecido enormemente (Ben Zair y otros, 2021).

1.5.8. Métodos de mezclado de asfalto con plástico reciclado

Según (Ben Zair y otros, 2021) afirman que existen dos tipos de mezclado:

1.5.8.1. Mezclado Seco

Para realizar este tipo de mezclado, en primer lugar, se coloca el asfalto con el agregado y en el procedimiento final, se introduce el PET, se ha corroborado que este proceso incrementa el rendimiento de la mezcla.

1.5.8.2. Mezclado húmedo

El procedimiento a seguir, principalmente se realizado el mezclado del PET con el asfalto y por último se introducen los agregados, aunque se dice que es incorrecto realizar este tipo de mezclado, ya que su grado de licuefacción es 250 °C.

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de Investigación

Aplicada y tecnológica, ya que se estudió la influencia del PET incorporado en MAC como aditivo modificador y a su vez, el impacto que está causó en la caracterización física-mecánica de la mezcla asfáltica.

Diseño de Investigación

Experimental, para analizar los rangos de desempeño de la mezcla convencional y la mezcla modificada, se utilizó el procedimiento Marshall para tráfico pesado para preparar la mezcla asfáltica en caliente, y se realizaron las pruebas correspondientes establecidas en el manual EG-2013, facilitadas por el MTC del Perú.

2.2. Variables, Operacionalización

Variables

Independiente

Botellas de plástico triturado.

Dependiente

Diseño de mezcla asfáltica aplicando el método Marshall.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Botellas de plástico triturado.	Son envases utilizado a nivel mundial para la comercialización de líquidos.	Para evaluar la influencia del PET como aditivo modificar de mezcla asfáltica se deberán agregar partículas menores a 4.75mm.	Dosificación	Incorporación de PET en porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%.	Observación, análisis de documentos, guías y fichas de recolección de datos: Laboratorio "LEM W&C EIRL"	%	Independiente	Porcentaje de PET incorporado con respecto al peso total de la briqueta.
Diseño de mezcla asfáltica aplicando el método Marshall	Aquella mezcla que es compuesta por agregados pétreos grueso y fino lo cual conforma un 90%, un 5% de ligante bituminoso más otros 5% de polvo mineral.	La evaluación del diseño de mezcla asfáltica consiste en realizar una comparación entre la mezcla convencional y la modificada con PET, de lo cual se evidenciarán los resultados obtenidos y las mejoras en cuanto a las propiedades físico-mecánicas.	Mezcla asfáltica Patrón	Gravedad Específica	Revisión documentaria y observación Guías y fichas de recolección de datos: Laboratorio "LEM W&C EIRL"	gr/cm3	Dependiente	Valores numéricos con respecto a los parámetros de diseño.
				Vacíos de aire		%		
			Mezcla asfáltica Modificada	Estabilidad	Revisión documentaria y observación Guías y fichas de recolección de datos: Laboratorio "LEM W&C EIRL"	kg		
				Flujo		mm		
Diseño de mezcla asfáltica aplicando el método Marshall	Aquella mezcla que es compuesta por agregados pétreos grueso y fino lo cual conforma un 90%, un 5% de ligante bituminoso más otros 5% de polvo mineral.	La evaluación del diseño de mezcla asfáltica consiste en realizar una comparación entre la mezcla convencional y la modificada con PET, de lo cual se evidenciarán los resultados obtenidos y las mejoras en cuanto a las propiedades físico-mecánicas.	Mezcla asfáltica Patrón	Gravedad Específica	Revisión documentaria y observación Guías y fichas de recolección de datos: Laboratorio "LEM W&C EIRL"	gr/cm3	Dependiente	Valores numéricos con respecto a los parámetros de diseño.
				Vacíos de aire		%		
			Mezcla asfáltica Modificada	Estabilidad	Revisión documentaria y observación Guías y fichas de recolección de datos: Laboratorio "LEM W&C EIRL"	kg		
				Flujo		mm		

Nota. En la tabla se muestran la variable dependiente e independiente del estudio de la investigación.

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

Población de estudio

Se nombró población a las briquetas cilíndricas elaboradas con mezcla asfáltica a través del método Marshall, donde se realizó el diseño de mezcla asfáltica patrón con agregados obtenidos de la planta de asfalto del Gobierno Regional de Lambayeque y con diversos contenidos de bitumen PEN 60-70, mientras que la mixtura modificada se le incorporó botellas de plástico reciclado triturado en distintos porcentajes, con el fin de experimentar, estudiar y comparar sus propiedades y parámetros de diseño.

Muestra

Esta muestra fue elaborada en laboratorio a través del método Marshall, realizando diferentes ensayos para la mezcla modificada (estabilidad, flujo, gravedad específica y porcentaje de vacíos).

El número de briquetas elaboradas fueron 90, estas se hicieron únicamente para tránsito pesado adicionando bitumen PEN 60-70 en un 4.5%, 5%, 5.5%, 6 y 6.5% y así poder someterlo a distintos porcentajes de PET de acuerdo al peso de la muestra, dichos contenidos son: 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5%.

Muestreo

Se realizaron 3 briquetas de muestreo para cada dosificación la cual consta de cinco porcentajes de cemento asfáltico de las cuales se obtuvieron resultados promedios.

Criterios de selección

Las botellas plásticas recicladas seleccionadas fueron botellas cristalinas, procedentes de bebidas de gaseosa y/o agua, en donde no se consideró la base y el pico de botella, ya que

poseen características más duras. Por otra parte, los áridos que conforman la MAC cumplieron con una de las Gradaciones Granulométricos (MAC-01, MAC-02, MAC-03) lo cual establece la EG-2013, logrando así definir la dosificación de la MAC y poder realizar la fabricación de las briquetas.

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

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación Directa

La recolección de datos, se inicia con la observación en donde nos permitirá tomar datos para la investigación en estudio, mediante este proceso metódico obtendremos los datos al adicionar las botellas de plástico trituradas (PET) en distintos porcentajes con respecto al peso de los áridos como aditivo modificador de la MAC.

Análisis de Documentos

Técnica que conlleva a revisar manuales, especificaciones técnicas, parámetros estándares y/o normas vigentes, lo cual sirvió para verificar que los resultados sean permisibles para la dosificación de materiales a experimentar.

Anotación

Técnica en la cual, se tomó nota del registro de datos de los diversos ensayos de laboratorio, de acuerdo al manual de ensayos de material del MTC.

Validez

La validez es importante disponer como regla inicial de estudio, porque nos aprobará cual es la alternativa más relevante de acuerdo a las variables.

Confiabilidad

El proyecto de estudio será revisado por medio de un jurado experimentado en la materia, los cuales darán veracidad a los datos presentados, cuyos resultados obtenidos del laboratorio de materiales fueron procesados y analizados fundamentalmente.

Instrumentos de recolección de datos

Documentos de instrucción

Los documentos utilizados fueron el Manual de Ensayos de Materiales del MTC, la Norma Técnica Peruana (NTP) y las normas americanas, tal como: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y American Society for Testing and Materials (ASTM).

- Análisis Granulométrico de Áridos Gruesos y Finos (MTC E 204, NTP 400.012, ASTM D422).
- Peso específico y absorción de agregados fino (MTC E 205, NTP 400.022 y ASTM C 128, AASHTO T 84).
- Peso específico y absorción de áridos gruesos (MTC E 206, NTP 400.021, ASTM C 127 y AASHTO T 85).
- Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste De Los Áridos De Tamaños Menores De 37,5 Mm (1 ½") (MTC E 207, NTP 400.019, ASTM C 535).
- Peso Unitario Suelto y Compactado, NTP 400.017.
- Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio (MTC E 209, NTP 400.016).
- Partículas Fracturadas en el Árido Grueso (MTC E 210, ASTM D 5821).
- Contenido sales (MTC E 219).
- Partículas chatas y alargadas en agregados (MTC E 223, ASTM D 4791).
- Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los suelos e Índice de Plasticidad (I.P.) malla N.º 40 y N.º 200. (MTC E 111, NTP 339.129).

- Equivalente de arena de suelos y árido fino (MTC E 114, NTP 339.146).
- Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504, ASTM-D6926, ASTM D 6927).

Documentos de prueba

Los documentos fueron proporcionados por parte del Laboratorio “LEM W&C EIRL”. Donde se contó con los equipos y herramientas para elaborar cada prueba en estudio, dichos documentos se detallan en los ANEXOS.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

Para el análisis de datos se empleará el método analítico tanto en el estudio de los materiales y del diseño de las mezclas asfálticas, los cuales serán evaluadas mediante las normas nacionales del MTC como también normas internacionales como: AASHTO y ASTM. Por último, se realizarán tablas y gráficos para poder cotejar entre lo establecido y lo obtenido en los estudios procesados, logrando dar respuesta de acuerdo con las variables de estudio con respecto al objetivo del proyecto.

2.6. Criterios éticos

La información recopilada ha sido obtenida de citas bibliográficas las cuales se podrán apreciar en este presente proyecto de tesis como respaldo el derecho de autor. Por otra parte, es de suma credibilidad los resultados en laboratorio, cuya información es de total autenticidad por parte del investigador, ya que dicho proyecto se encuentra sometido a rigurosa base de términos éticos los cuales competen a honestidad y lealtad profesional.

Criterios de Rigor Científico

Fiabilidad

Los datos adquiridos son de carácter verídico debido a que se realizó una buena recolección de datos tomando en cuenta las normas vigentes mencionadas en el presente proyecto de tesis para poder validar los resultados.

Replicabilidad

Existieron diferentes factores que consintieron en cooperar en la obtención de información, las cuales son importantes para estudios a largo plazo, dado el nuevo ámbito en materiales modificados con botellas de plástico triturados (PET).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Características físicas de los agregados pétreos (arena y piedra)

Principalmente se debe estudiar los agregados, y así validar que estos estén acordes a las especificaciones de calidad y tengan buen desempeño. Estos agregados fueron extraídos de la Cantera de la Planta de Asfalto del Gobierno Regional de Lambayeque, ubicada en Batangrande. Por otra parte, podemos apreciar los resultados de los agregados estudiados:

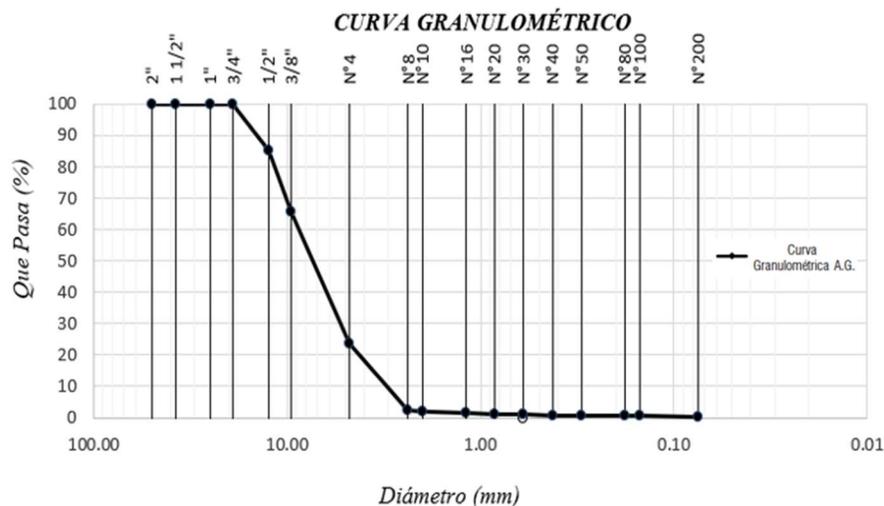
Análisis granulométrico de los agregados (MTC E 204, NTP 400.012:2021)

Para las mezclas asfálticas en caliente (MAC) de acuerdo con la sección 423 Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013, la granulometría de los agregados es una propiedad muy importante que afecta a la MAC.

Agregado Grueso:

Figura 8

Curva granulométrica del agregado grueso

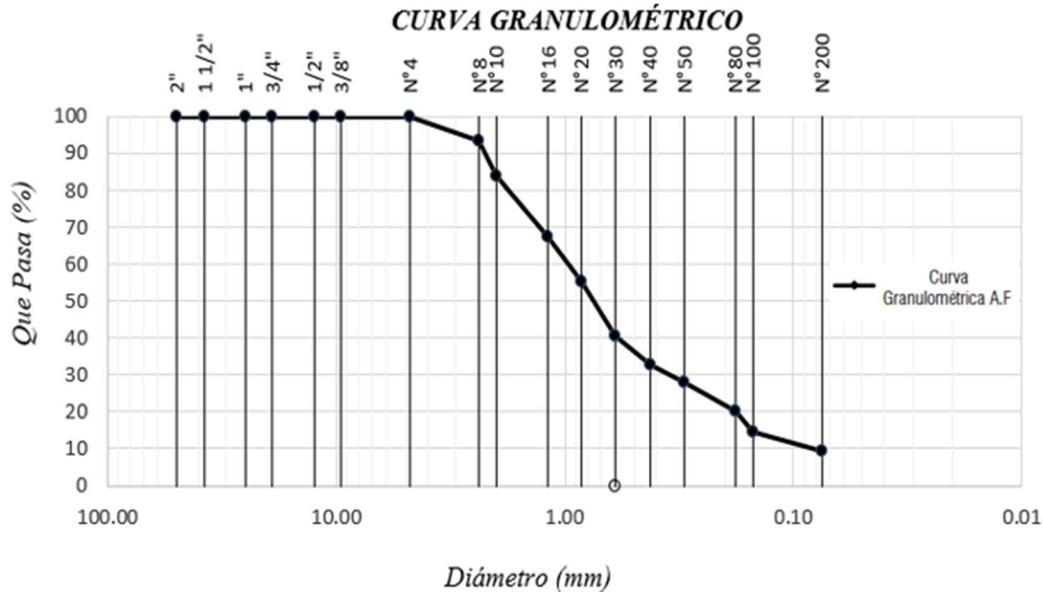


Nota. Este gráfico muestra la granulometría del árido grueso de acuerdo a los tamices normalizados.

Agregado Fino:

Figura 9

Curva granulométrica del agregado fino



Nota. Este gráfico representa la granulometría del árido fino, de acuerdo a los tamices normalizados.

Los equipos y materiales utilizados fueron los siguientes:

- Balanza con aproximación a 0.5g y exactitud a 0.1%.
- Estufa de tamaño adecuado y capaz de mantener temperatura uniforme a 110 +/- 5 °C.
- Taras metálicas.
- Tamices Normalizados de acuerdo a las especificaciones del material a ensayar.

Resumen de resultados de ensayos de control de calidad de los agregados

La comprobación conforme a las normas previstas en las "Normas Técnicas Generales de la Construcción" EG-2013 del Manual de Carreteras puede realizarse una vez finalizados los ensayos de calidad de los áridos gruesos y finos. Las Tablas N.º 2 y N.º 3. proporcionan más información sobre estos resultados.

Tabla 2*Resumen de pruebas de control de calidad del árido grueso*

Ensayos	Norma Nacional	Requerimiento $\leq 3000\text{msnm}$	Piedra Chancada de $< 3/4''$	Verificación de Piedra Chancada de $< 3/4''$
Durabilidad	MTC E 209	18% máx.	7%	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	14.14%	Cumple
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10% máx.	9.60%	Cumple
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	89.10/83.60	Cumple
Sales Solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.10%	Cumple
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	1.80%	Cumple

Nota. Se aceptan valores mayores siempre y cuando se asegure las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Tabla 3*Resumen de pruebas de control de calidad del árido fino*

Ensayos	Norma Nacional	Requerimiento $\leq 3000\text{msnm}$	Arena Fina $< 1/4''$	Verificación de Arena Fina $< 1/4''$
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	60	Cumple
Índice de plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP	Cumple
Durabilidad	MTC E 209	-	6%	Cumple
Índice de plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	2.2%	Cumple
Sales Solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.10%	Cumple
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	1.21%	Cumple

Nota. Se aceptan valores mayores siempre y cuando se asegure las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Resultados de las características físicas-químicas del bitumen

Debido a que el cemento asfáltico PEN 60/70 ha sido aprobado por Petro Perú, empresa que fabrica y distribuye productos asfálticos, no se han realizado ensayos sobre el mismo. Para evaluar estas especificaciones se han utilizado las características enumeradas en las "Normas Técnicas Generales de Construcción" EG-2013 del Manual de Carreteras, y los resultados se comparan y explican en la Tabla N° 4.

Tabla 4

Resumen de resultados de control de calidad del PEN 60-70

Ensayos	Normas	Requerimiento PEN 60-70		Cemento Asfáltico PEN 60-70		Verificación del Bitumen
		Mín.	Máx.			
Pruebas sobre el Material Bituminoso						
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 0.1mm	MTC E 304	60	70	60	70	Cumple
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		Cumple
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		Cumple
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99		99		Cumple
Índice de Penetración (Oliensies)	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	Cumple
Solvente Nafta - Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Cumple
Solvente Nafta - Xileno		Negativo				Cumple
Solvente Heptano - Xileno		Negativo				Cumple
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2 mm, 5 h						
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0.8		0.8	Cumple
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	52+		52+		Cumple
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	50		50		Cumple

Nota. Se muestra los resultados que la empresa PETRO PERÚ muestra en sus especificaciones

técnicas del producto adquirido, dichos resultados se encuentran acorde a los señalados en el Manual de Carreteras EG-2013.

Resultados de la combinación de agregados para obtención de dosificación de diseño

La combinación de áridos se continuó teniendo en cuenta el TM nominal de la piedra tras evaluar las pruebas de calidad de los áridos y el bitumen en relación con las exigencias de las MAC.

Obtenido los resultados del estudio granulométricos del árido grueso y el árido fino, se procede a relacionar dichos resultados y así lograr una gradación que cumpla con los husos granulométricos establecidos para el diseño de MAC, tal como señala la Tabla 423-03 de la EG-2013 del MTC.

Tabla 5

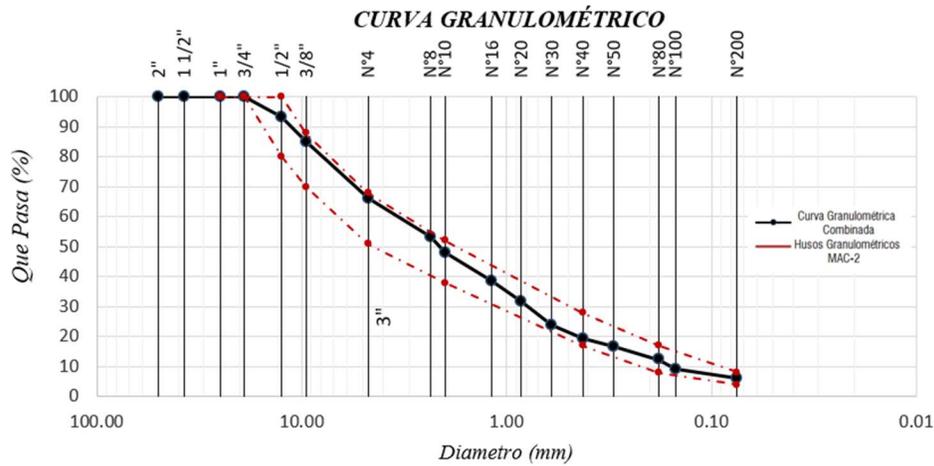
Resultados de dosificación de agregados pétreos para mezcla asfáltica, 55% de Árido Fino + 44% de Árido Grueso + 1% de Filler Mineral

Malla		44.0	55.0	1.0	100.0	GRADACIÓN		
		% Que Pasa						
Pulg.	(mm.)	A. Grueso	A. Fino	Filler	Combinado	MAC - 2		
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100		
1/2"	12.500	85.2	100.0	100.0	93.5	80	-	100
3/8"	9.500	65.6	100.0	100.0	84.9	70	-	88
Nº 4	4.750	23.4	100.0	100.0	66.3	51	-	68
Nº 8	2.360	2.4	93.3	100.0	53.4			
Nº 10	2.000	2.0	83.9	100.0	48.0	38	-	52
Nº 16	1.180	1.4	67.4	100.0	38.7			
Nº 20	0.850	1.2	55.1	100.0	31.9			
Nº 30	0.600	1.0	40.6	100.0	23.8			
Nº 40	0.425	0.9	32.8	100.0	19.4	17	-	28
Nº 50	0.300	0.8	28.0	100.0	16.7			
Nº 80	0.180	0.7	20.1	100.0	12.4	8	-	17
Nº100	0.150	0.6	14.4	100.0	9.2			
Nº200	0.075	0.4	9.3	100.0	6.2	4	-	8

Nota. En esta tabla se detalla la combinación de los áridos pétreos y su gradación obtenida.

Figura 10

Gradación de los áridos pétreo con respecto al MAC-2



Nota. Este gráfico demuestra que la granulometría combinada que se muestra cumple con la gradación tipo MAC-2.

Tabla 6

Husos granulométricos para MAC

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

Nota. Esta tabla que se muestra es tomada del *Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción" (EG-2013)*, (p.561),2013. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Diseño de mezcla asfáltica patrón aplicando el método Marshall

Metodología para cálculo del óptimo contenido de asfalto

Para determinar el óptimo contenido de asfalto, se realizó mediante una fórmula computacional para el diseño Marshall. Este porcentaje óptimo contenido de asfalto esperado, se calcula con respecto al peso total de la mezcla, la cual se estima con respecto a la gradación última de los agregados que pasan el tamiz N.º 200. (Asphalt Institute, 2014)

El Instituto del Asfalto establece la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de asfalto óptimo esperado:

$$P = 0.035 * a + 0.045 * b + Kc + F$$

Los valores obtenidos para cada variable son obtenidos de la granulometría combinada donde: a=46.60%; b=50.40%; c=6.20%; K=0.18 y F=0.7. El resultado obtenido luego de haber desarrollado la ecuación, se resuelve y asimismo, podemos asumir que el contenido óptimo de asfalto esperado para el diseño de mezclas es 5.80%, este porcentaje es de acuerdo al peso de los agregados.

Elaboración de briquetas

Luego de haber realizado la gradación correcta de los áridos y la propuesta de diseño para mezcla patrón con cinco contenidos de asfalto: 4.50%; 5.00%; 5.50%; 6.00% y 6.50%, dentro de los cuales se encuentra el óptimo esperado determinado previamente al diseño. Por otra parte, el número de golpes es de 75, que equivale a un tránsito pesado, tal como lo exige el método Marshall. Este ensayo, consta en elaborar 3 briquetas como mínimo para cada contenido de asfalto, por lo tanto, se hace un total de 15 briquetas, las que enseguida son estudiadas con respecto al método Marshall y así obtener los resultados finales de cada muestra. Cabe recalcar que el PET en la mezcla asfáltica han sido utilizadas como un aditivo modificador de acuerdo al peso de los áridos.

Luego de haber realizado el diseño de la mezcla asfáltica patrón, se continua con el diseño de la mezcla asfáltica modificada estableciendo como contenidos de asfalto de prueba, los ya realizados para hallar el óptimo contenido de bitumen en la MAC: 4.5%; 5.0%; 5.5%; 6.0% y 6.5%. La propuesta planteada en la investigación conlleva a desarrollar la incorporación como aditivo al plástico de botellas trituradas en porcentajes de 0.5%; 1.0%; 1.5%; 2.0% y 2.5%; dichos porcentajes son con respecto al peso total de los áridos. Cabe recalcar que el tipo de asfalto utilizado, la gradación de los agregados, el tránsito desarrollado (tránsito pesado), la compactación y la temperatura de la mezcla, es la misma que en el diseño de la MAC tradicional.

Determinación de parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica patrón y de la mezcla asfáltica modificada

Tabla 7

Resultados de las condiciones volumétricas en tránsito pesado

CONTENIDO PLÁSTICO DE BOTELLAS RECICLADAS	TRÁNSITO PESADO						ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA MEZCLA CLASE A
	0%	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%	
N.º de golpes				75			
% C. A	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	
Peso Específico (gr/cm ³)	2.34	2.32	2.30	2.29	2.27	2.25	-
Estabilidad (kN)	18.27	19.7	20.80	21.1	21.7	19.3	8.15kN
Flujo 0.01" (0,25mm)	13.21	15.24	19.5	18.9	20.1	19.6	8 a 14
Vacíos de aire%	4.0	4.10	3.7	3.3	3.8	4.6	3 a 5
% Vacíos en el agregado mineral (V.M.A.)	15.2	16.2	16.6	17.3	18.0	18.5	14
% Vacíos llenos con asfalto (V.LL.C.A)	73.5	73.86	77.90	80.6	78.2	75.3	65-75
Relación Polvo/Asfalto	0.78	0.86	0.93	1.01	1.02	1.01	0.6-1.3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	3777.60	3644.9	2943.5	2948.7	3101.7	2770.0	1700-4000

Nota. Esta tabla explica los resultados obtenidos del estudio de investigación, en donde se puede corroborar que los resultados al porcentaje de adición al 0.5% de PET es el que logra mejorar y cumplir en cierta parte con las especificaciones de diseño para tránsito pesado, excepto en flujo Marshall.

Determinación del contenido ideal de bitumen

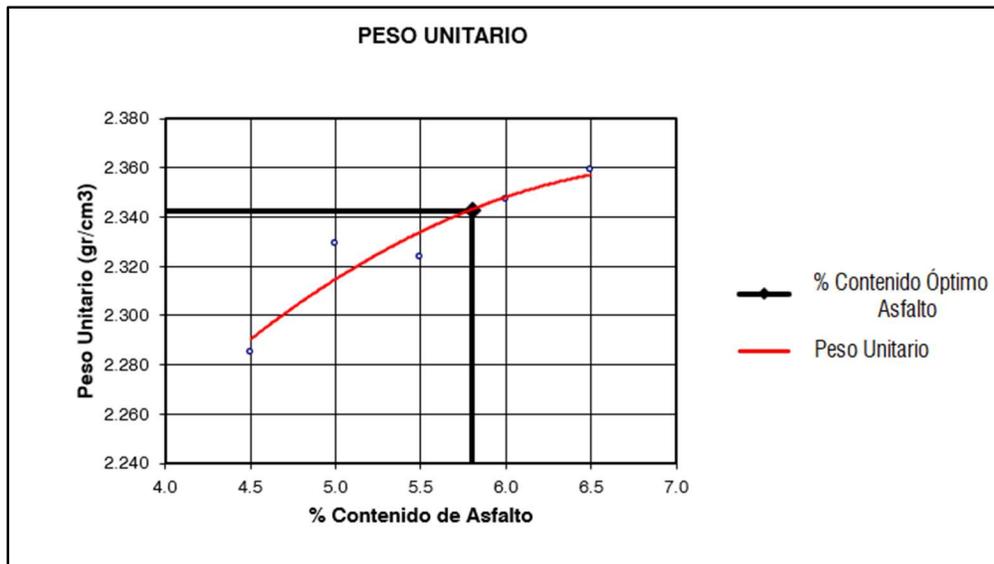
Se determinó el porcentaje de bitumen considerando el criterio de la ecuación computacional en relación a la gráfica entre el porcentaje de vacíos con aire y los contenidos de bitumen, cuyo valor es el 4%, que es la media para diseño de MAC, debido a las especificaciones técnicas se propone un valor de 3 a 5%.

Desarrollo de gráficas Marshall para MAC

Las gráficas fueron realizadas de acuerdo al método Marshall, tomando en cuenta el contenido de bitumen en las gráficas en el eje x, mientras que los parámetros de diseño se consideran en en el eje y.

Figura 11

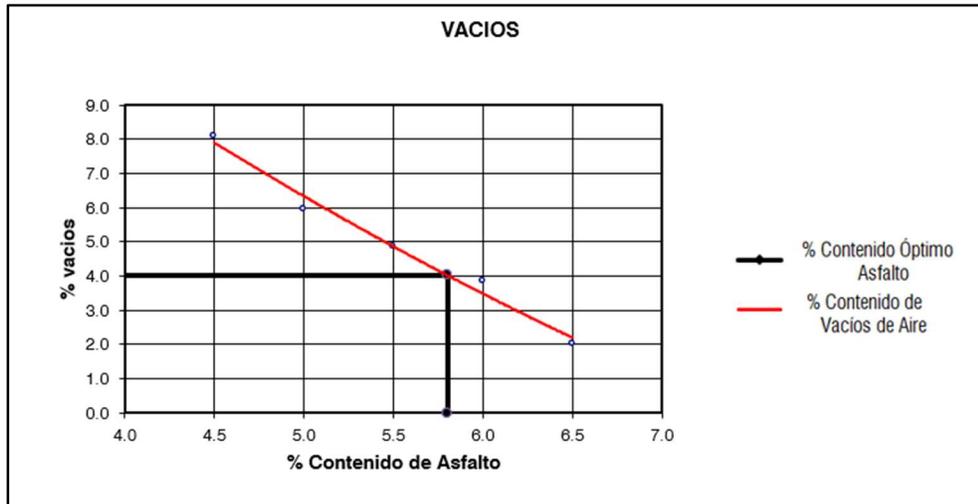
Gráfico % Contenido de Asfalto vs Peso Unitario de mezcla patrón



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 12

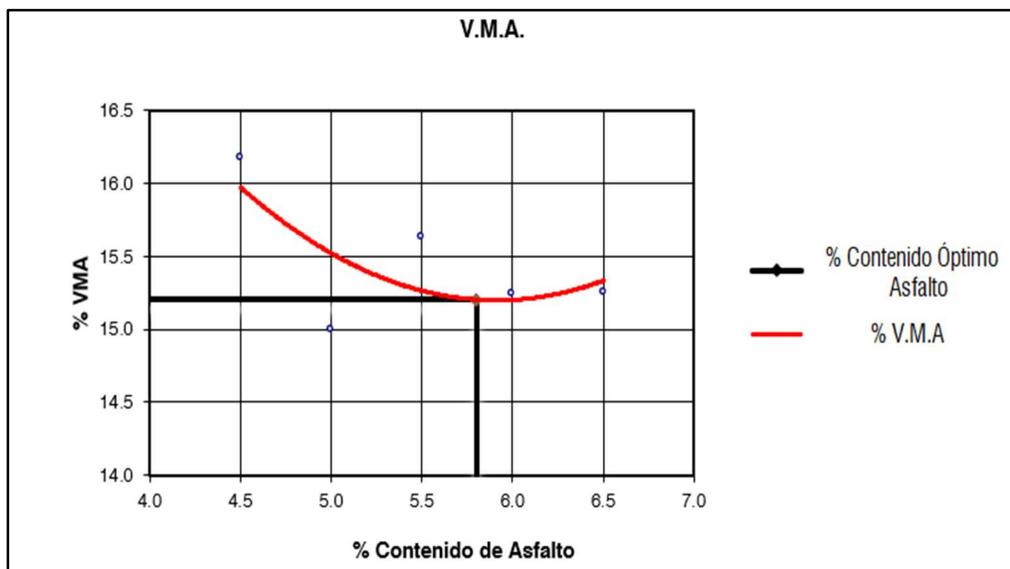
Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos con aire de la mezcla patrón



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 13

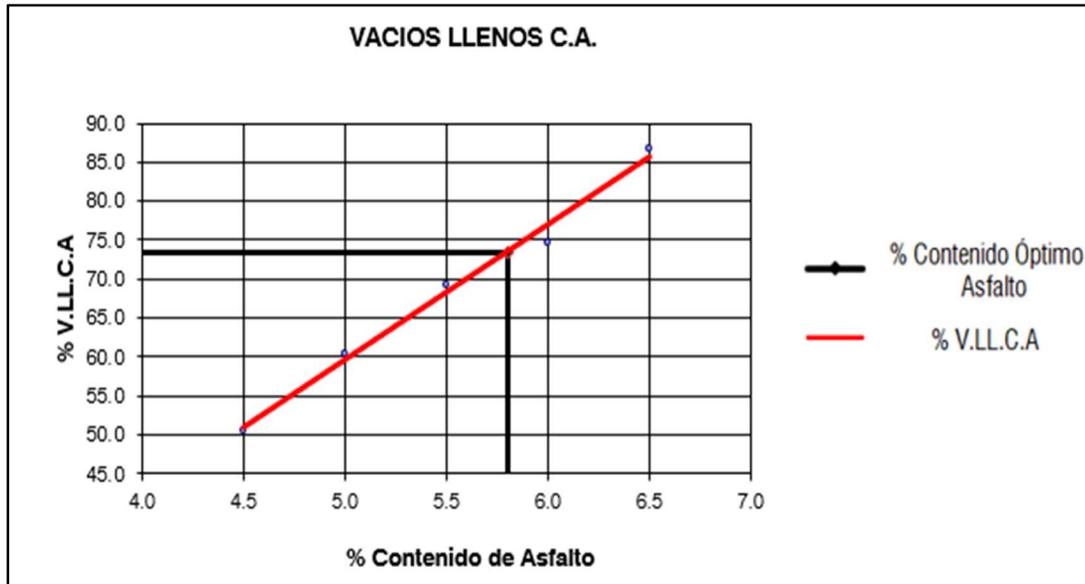
Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos en el agregado mineral de la mezcla patrón.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 14

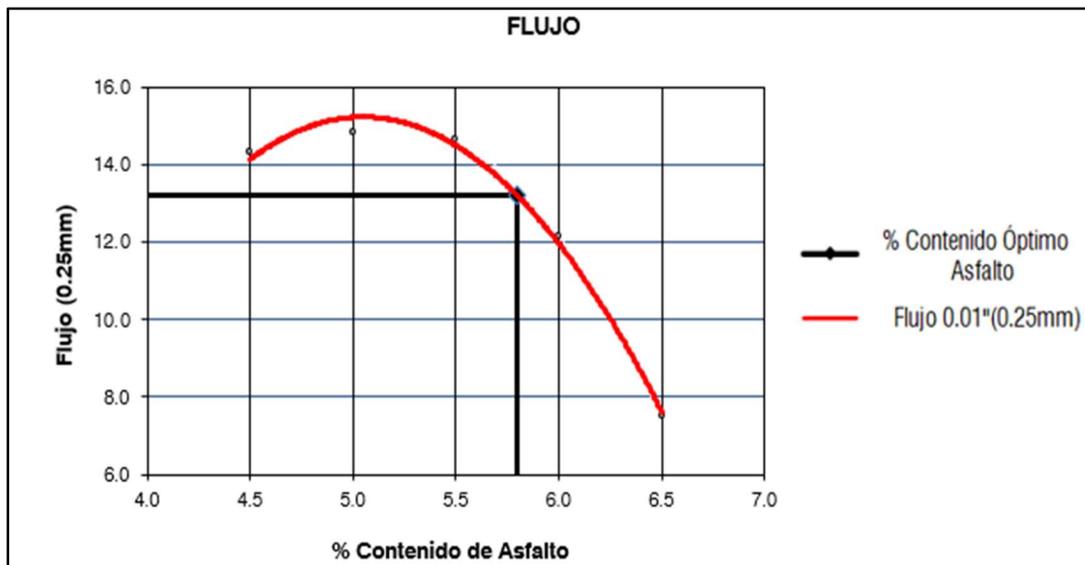
Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos llenos con cemento asfáltico de la mezcla patrón.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 15

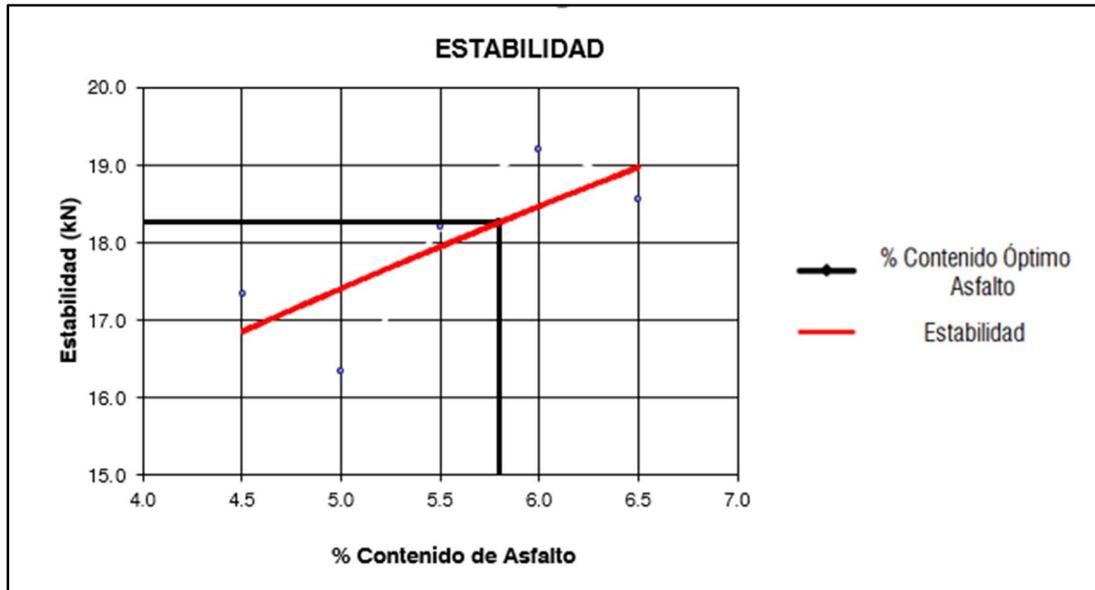
Gráfico % Contenido de Asfalto vs el Flujo de la mezcla patrón.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 16

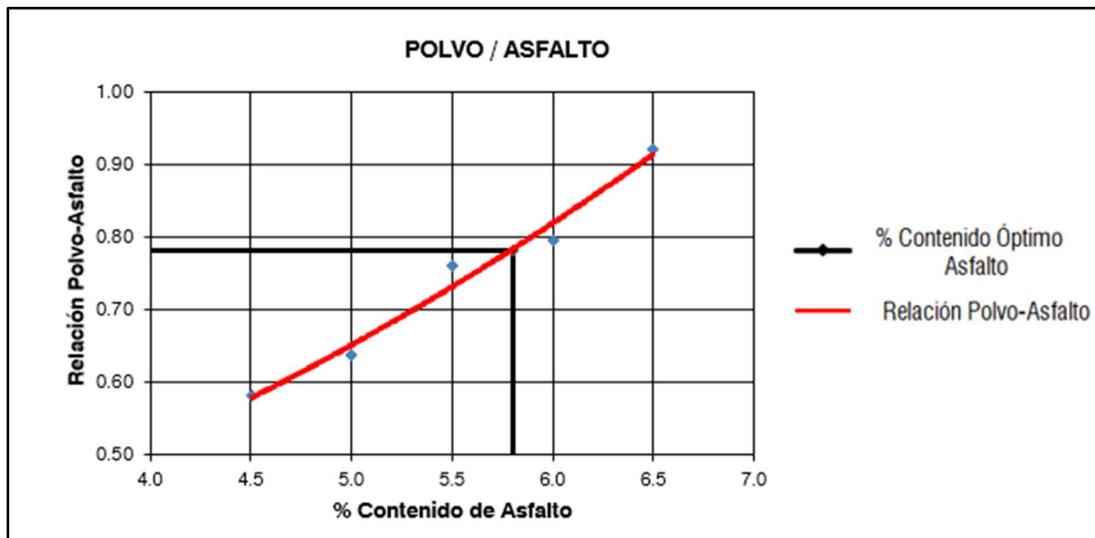
Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Estabilidad de la mezcla patrón.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 17

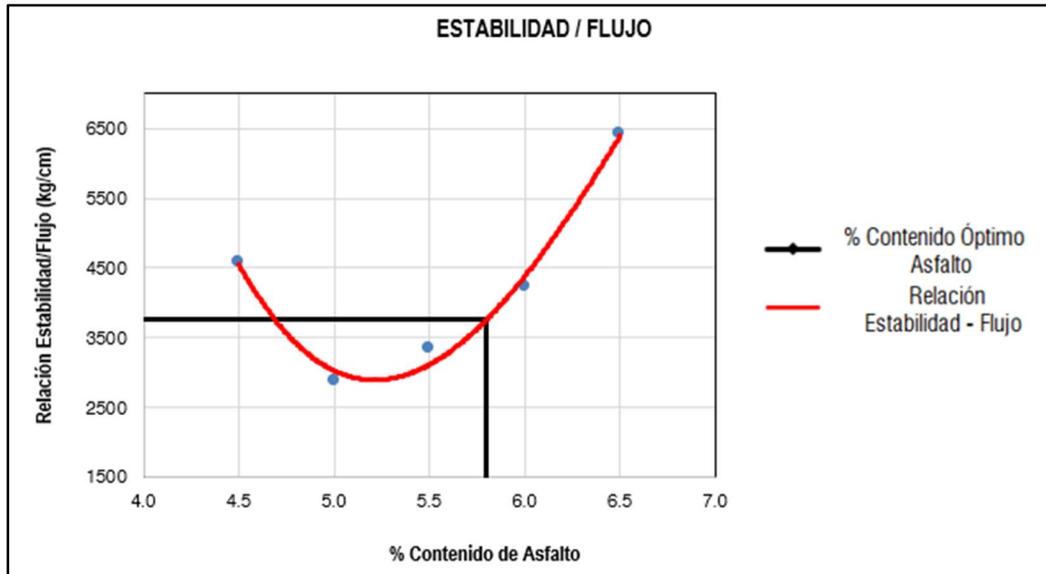
Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre el polvo/asfalto de la mezcla patrón.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 18

Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre la Estabilidad/Flujo de la mezcla patrón.



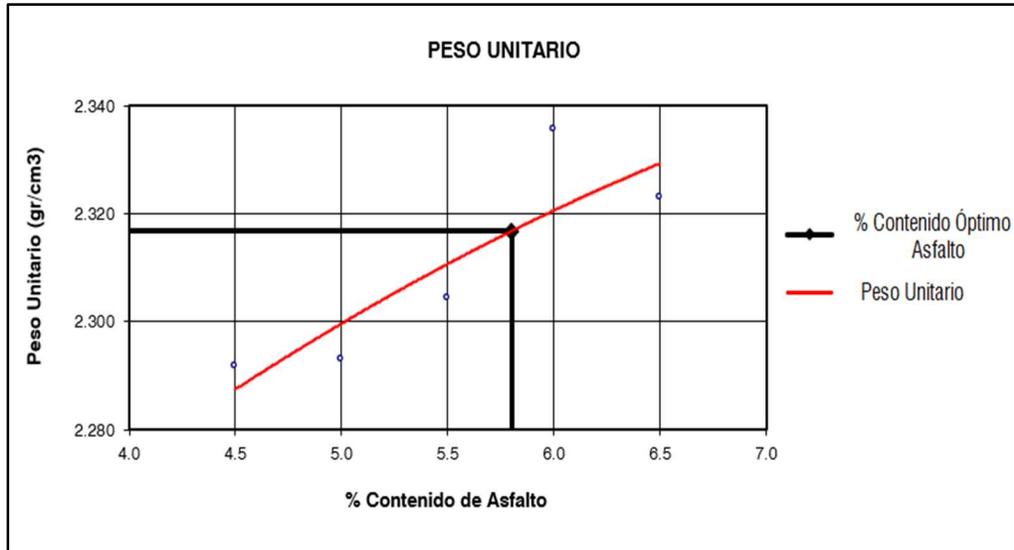
Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Realizadas las gráficas Marshall se halló que el % de bitumen de acuerdo a los criterios ya mencionados, para un porcentaje de vacíos de aire al 4% es de 5.80%.

Desarrollo de gráficas Marshall para mezcla asfáltica modificada

Figura 19

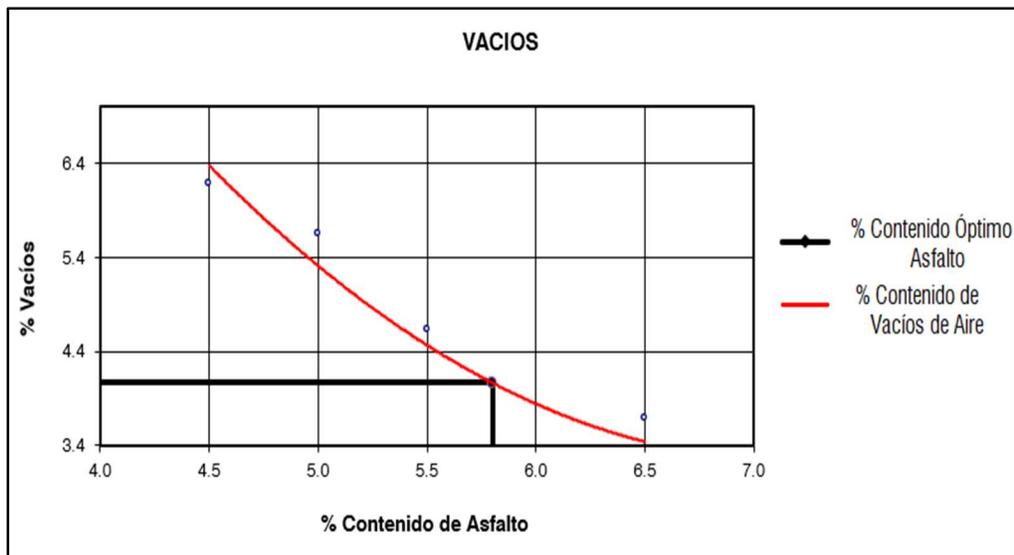
Gráfico % Contenido de Asfalto vs Peso Unitario de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 20

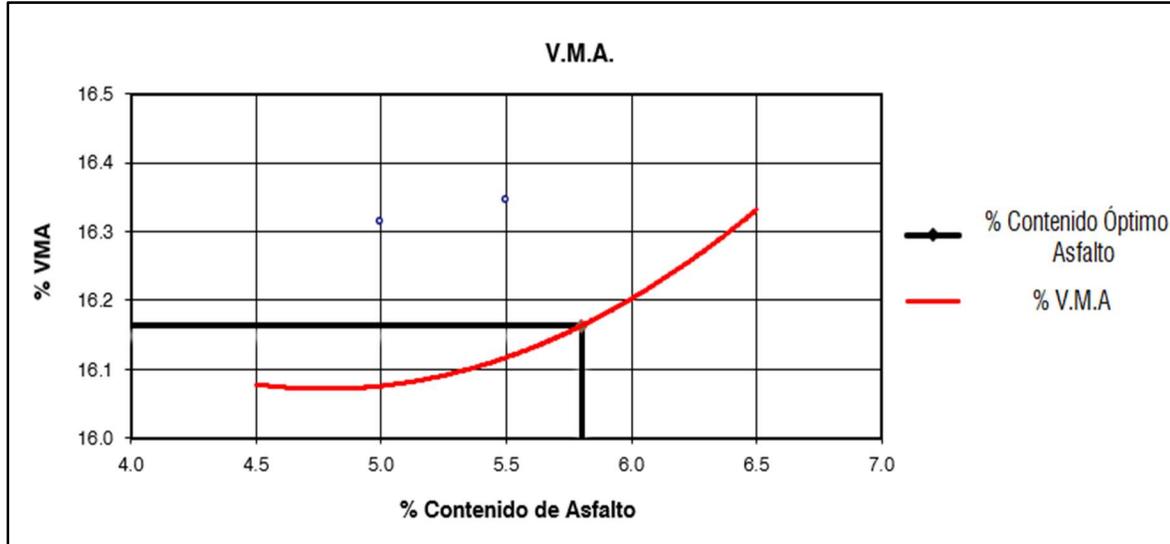
Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos con aire de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 21

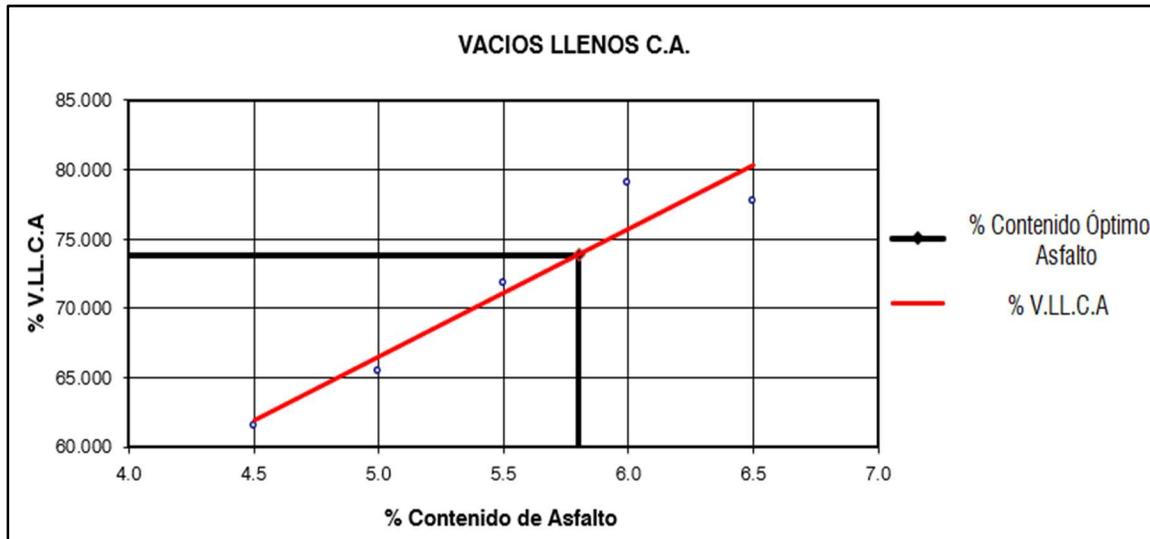
Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos en el agregado mineral de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 22

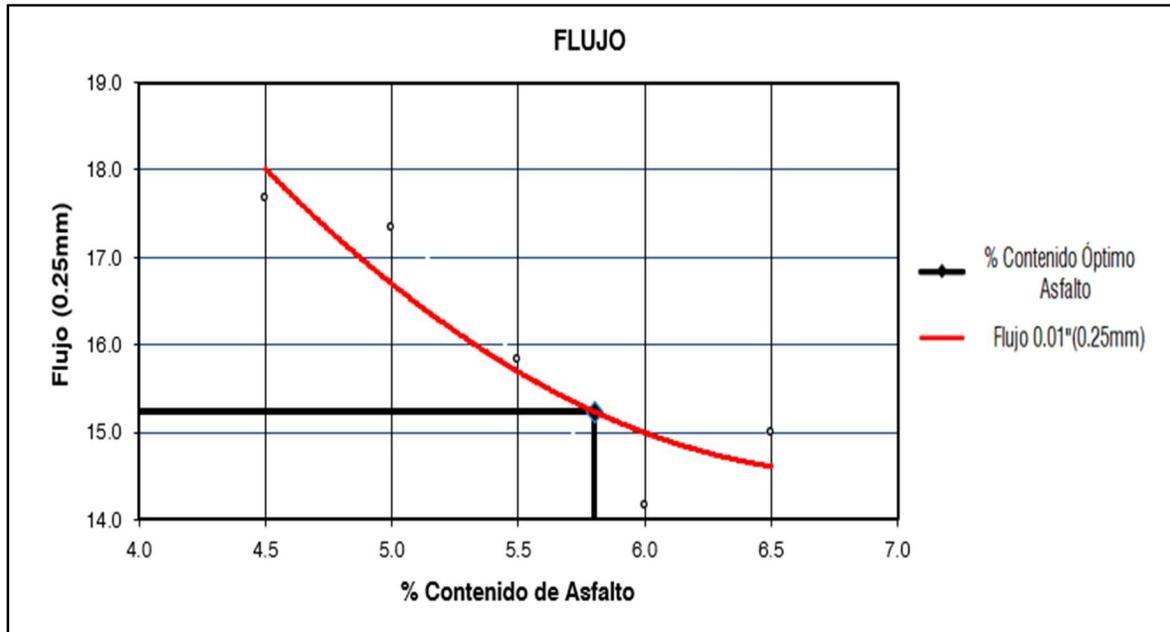
Gráfico % Contenido de Asfalto vs % Vacíos llenos con cemento asfáltico de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 23

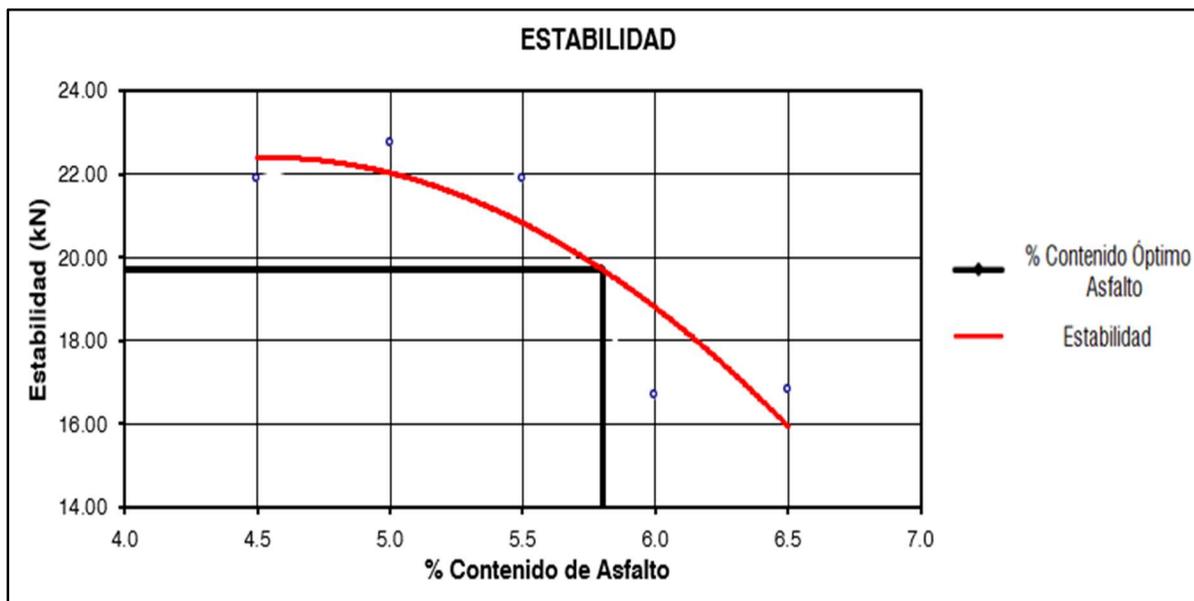
Gráfico % Contenido de Asfalto vs el Flujo de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 24

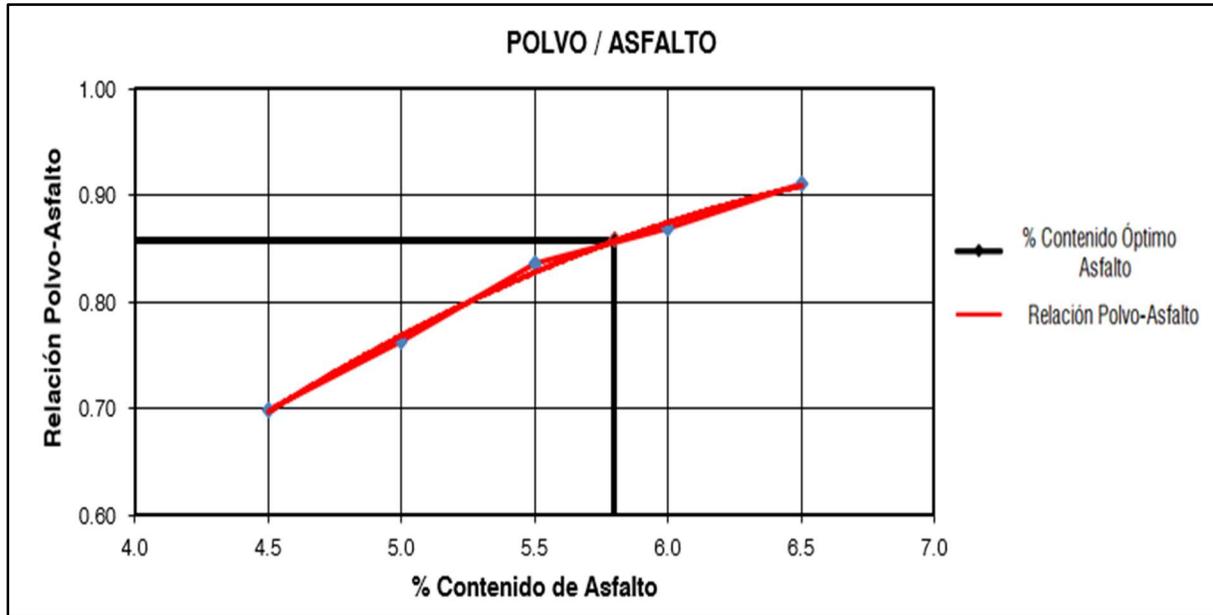
Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Estabilidad de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 25

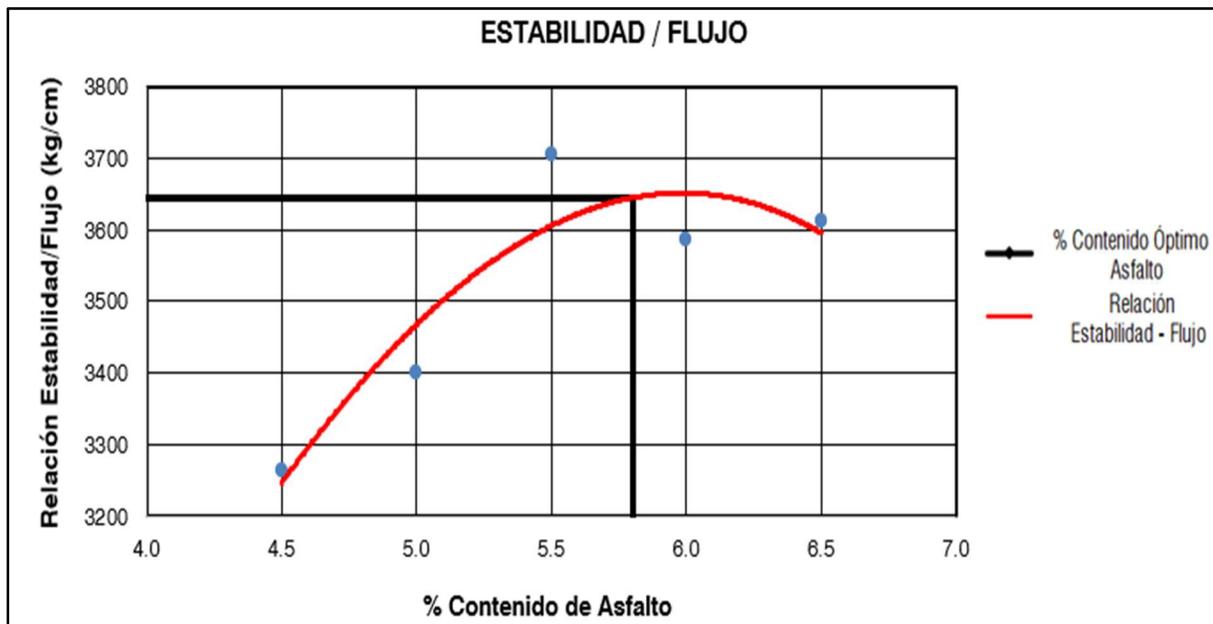
Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre el polvo/asfalto de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Figura 26

Gráfico % Contenido de Asfalto vs la Relación entre la Estabilidad/Flujo de la mezcla modificada + 0.5%PET.



Nota. Este gráfico muestra que con el % bitumen se obtuvo dicho indicador.

Resultados de la mezcla patrón de acuerdo al método Marshall

Tabla 8

Diseño de mezcla patrón

Dosificación de agregados combinados	
Agregados	% Peso
Piedra chancada < 3/4"	41.45
Arena Fina < 1/4"	51.81
Filler (Cemento Portland Tipo I)	0.94
Cemento Asfáltico	
Cemento Asfáltico	PEN 60/70
%Óptimo	5.80 %
Peso Específico (gr/cm ³)	1.018
Parámetros de Diseño Físico/Mecánicas	
Marshall MTC E 504	A
1. Compactación, número de golpes por lado	75
2. Estabilidad (kN)	18.27
3. Flujo 0.01"(0.25mm)	13.20
4. % Vacío con aire	4.00
5. % Vacíos en el agregado mineral (VMA)	15.2
6. % Vacíos llenos con asfalto (V.LL.C.A)	73.52
7. Relación Polvo - Asfalto	0.78
8. Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	3777.6
9. Temperatura de Mezcla (°C)	140
10. Temperatura de Compactación (°C)	130
11. Gravedad específica (gr/cm ³)	2.343

Nota. En la tabla se puede apreciar los porcentajes de dosificación que componen la mezcla asfáltica convencional y a su vez, los resultados obtenidos de los parámetros de diseño físico/mecánicos.

Resultados de la mezcla modificada de acuerdo al método Marshall

Tabla 9

Diseño para mezcla asfáltica modificada, método tipo Marshall

Dosificación de agregados combinados	
Agregados	% Peso
Piedra chancada < 3/4"	41.23%
Arena Fina < 1/4"	51.54%
Filler (Cemento Portland Tipo I)	0.94%

Cemento Asfáltico	
Tipo de Cemento Asfáltico	PEN 60/70
% Óptimo	5.80%
Peso Específico (gr/cm ³)	1.018

Botellas de plástico trituradas (PET)	
% Óptimo	0.50%
Peso específico (gr/cm ³)	1.318

Parámetros de Diseño Físico/Mecánicas	
Marshall MTC E 504	A
1. Compactación, número de golpes por lado	75
2. Estabilidad (kN)	19.70
3. Flujo 0.01"(0.25mm)	15.24
4. % Vacío con aire	4.10
5. % Vacíos en el agregado mineral (VMA)	16.16
6. % Vacíos llenos con asfalto (V.LL.C.A)	73.86
7. Relación Polvo - Asfalto	0.86
8. Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	3644.90
9. Temperatura de Mezcla (°C)	140
10. Temperatura de Compactación (°C)	130
11. Gravedad específica (gr/cm ³)	2.317

Nota. En la tabla se puede apreciar los porcentajes de dosificación que componen la mezcla asfáltica modificada y a su vez, los resultados obtenidos de los parámetros de diseño físico/mecánicos.

Análisis comparativo de los resultados de los parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica patrón (MAP) y la mezcla asfáltica modificada (MAM) para tránsito pesado

Luego de haber determinado los parámetros de diseño Marshall para la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica modificada, se desarrolla la Tabla 10, donde podremos hacer un comparativo de resultado con respecto a las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del EG-2013. Estos resultados se podrán apreciar de mejor manera, mediante las siguientes gráficas.

Tabla 10

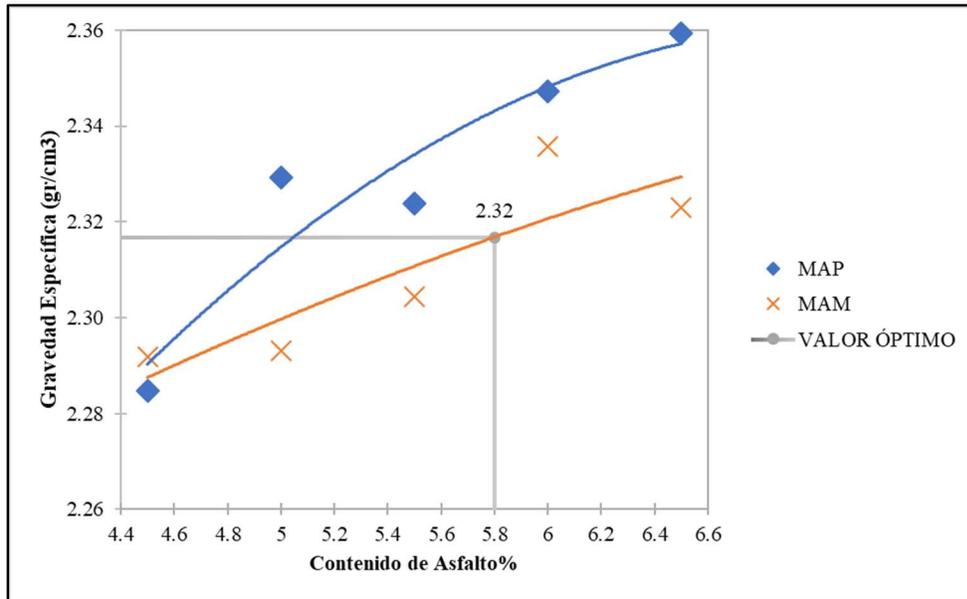
Comparativo de parámetros de diseño de la mezcla asfáltica MAP vs MAM.

Parámetros de diseño Marshall para MAC-02	MAP	MAM	Especificaciones de Diseño para Clase de Mezcla A
Gravedad Específica (gr/cm ³)	2.34	2.32	-
Estabilidad (kN)	18.27	19.7	8.15kN
Flujo 0,01" (0,25mm)	13.21	15.24	8 a 14
%Vacíos de Aire	4.0	4.10	3 a 5
%Vacíos en el agregado mineral (V.M.A.)	15.2	16.2	14
%Vacíos Llenos con asfalto (V.LL.C.A)	73.5	73.86	65-75
Relación Polvo-Asfalto	0.78	0.86	0.6-1.3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	3777.6	3644.9	1700-4000

Nota. Esta tabla demuestra la comparación que existe entre los indicadores de diseño de MAP y MAM, respecto a las especificaciones técnicas de diseño para tránsito pesado, clase A.

Figura 27

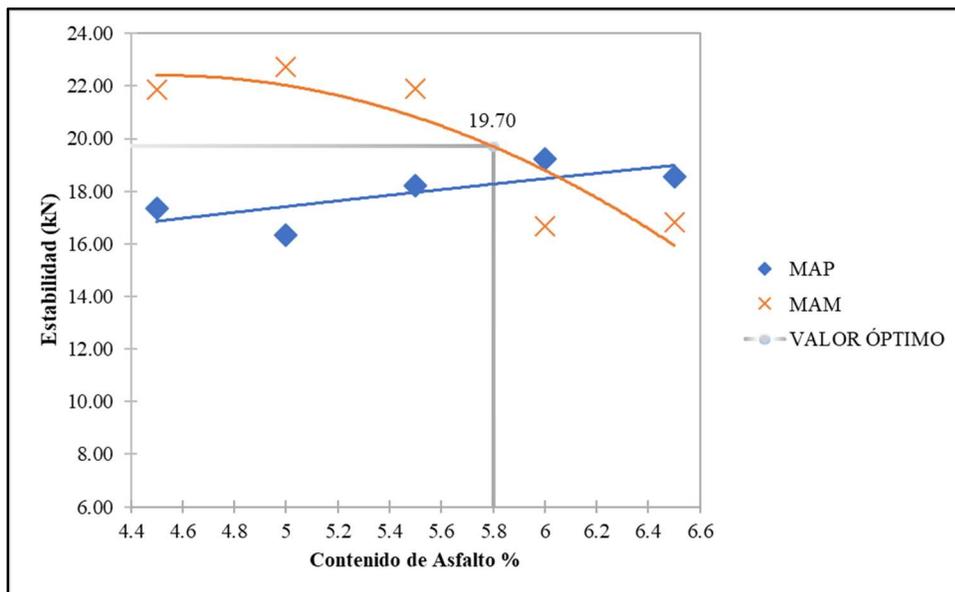
Gráfico comparativo entre Peso Específico de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza que dicho parámetro no incrementó significativamente entre ambas pruebas.

Figura 28

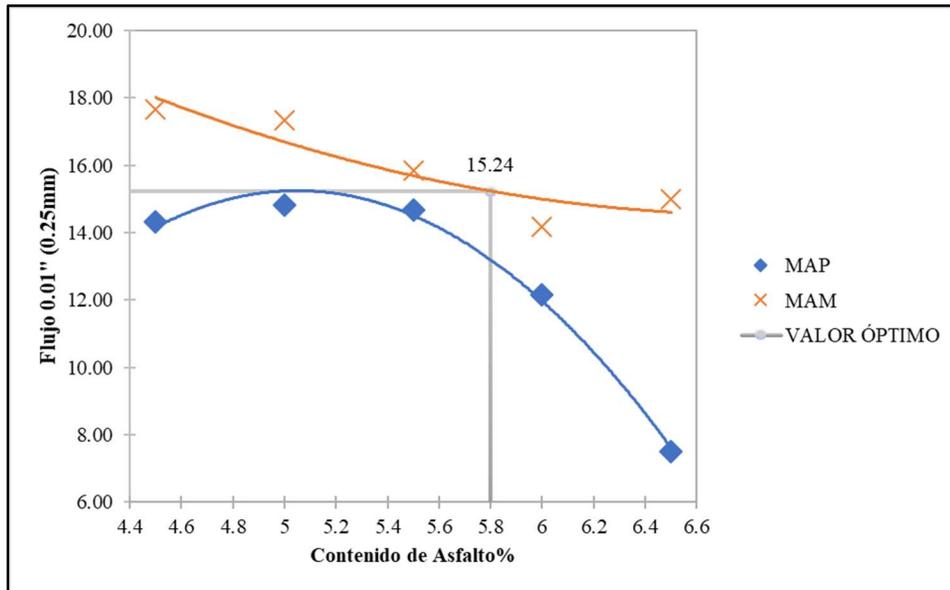
Gráfico comparativo de Estabilidad de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza que dicho parámetro incrementó en comparación a la convencional, pero se mantiene acorde a las especificaciones técnicas.

Figura 29

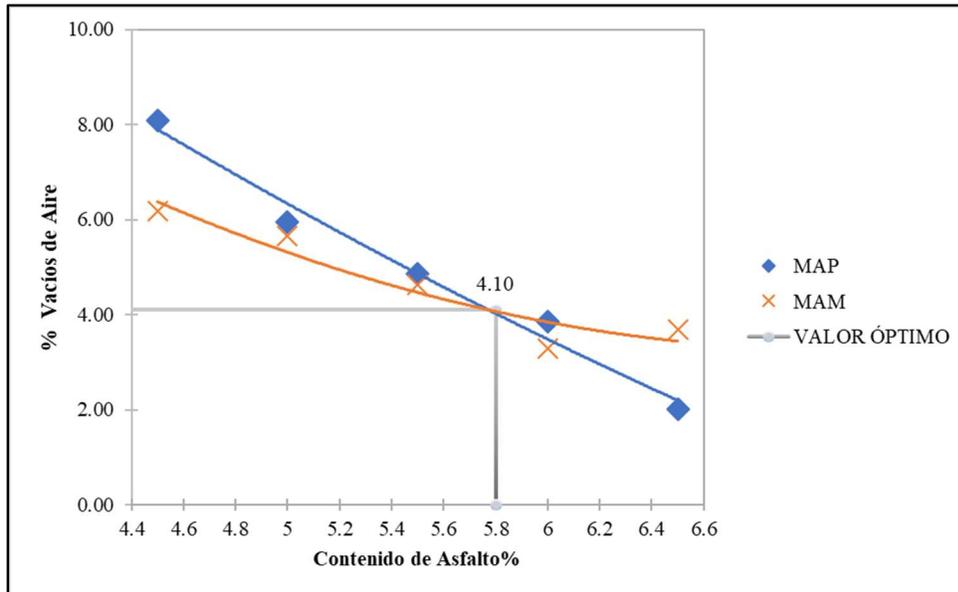
Gráfico comparativo entre el Flujo Marshall de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza que dicho parámetro incrementó significativamente con la adición de PET, lo cual hace que no cumpla con las especificaciones técnicas de diseño.

Figura 30

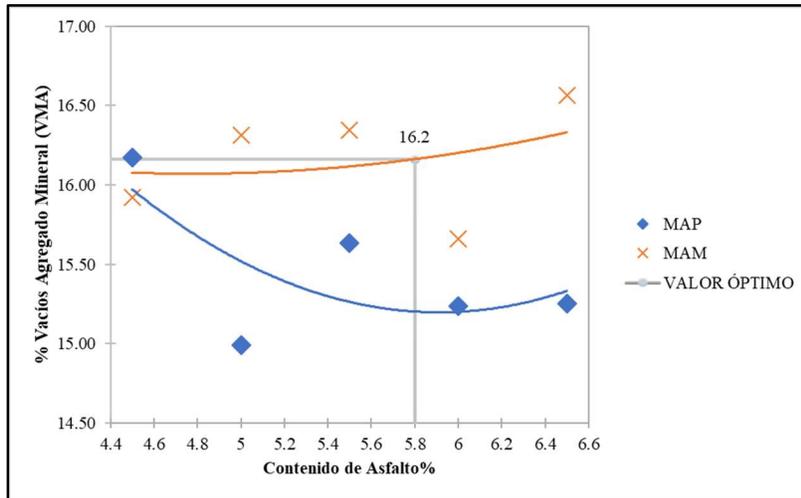
Gráfico comparativo % Vacíos de Aire de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza que dicho parámetro no incrementó significativamente entre ambas muestras de estudio.

Figura 31

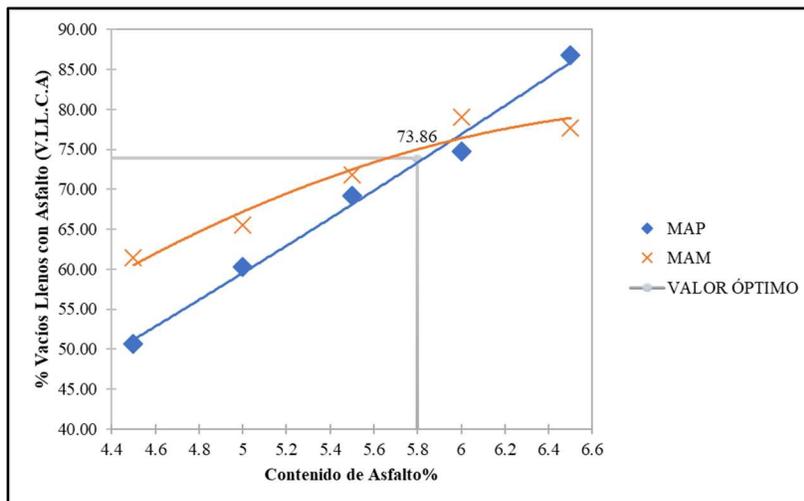
Gráfico comparativo % Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) de MAP y MAM



Nota. Se visualiza que el %VMA incrementó en la muestra MAM, en comparación al %VMA de la MAP lo cual hace que mejore su comportamiento.

Figura 32

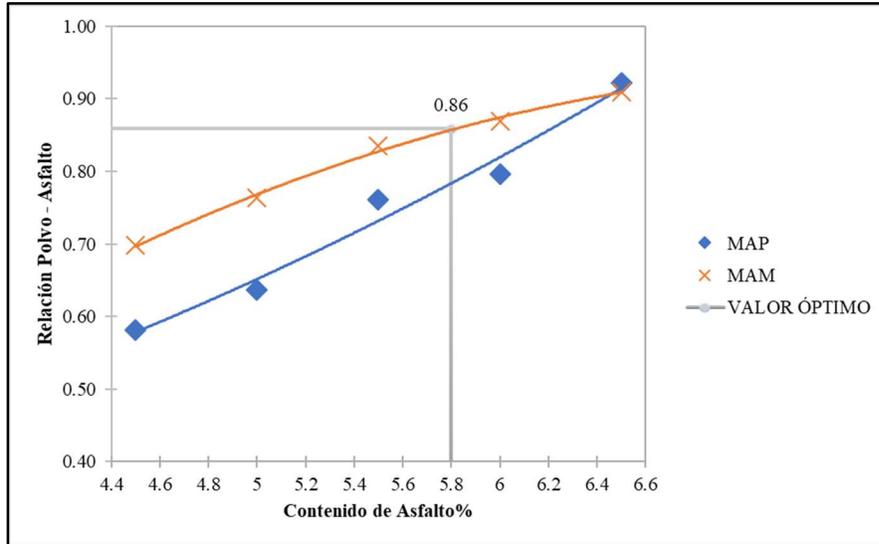
Gráfico comparativo % V.L.L.C.A. de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza un incremento no muy significativo de la MAM con respecto en comparación a la MAP, los resultados están acorde a los indicadores de diseño.

Figura 33

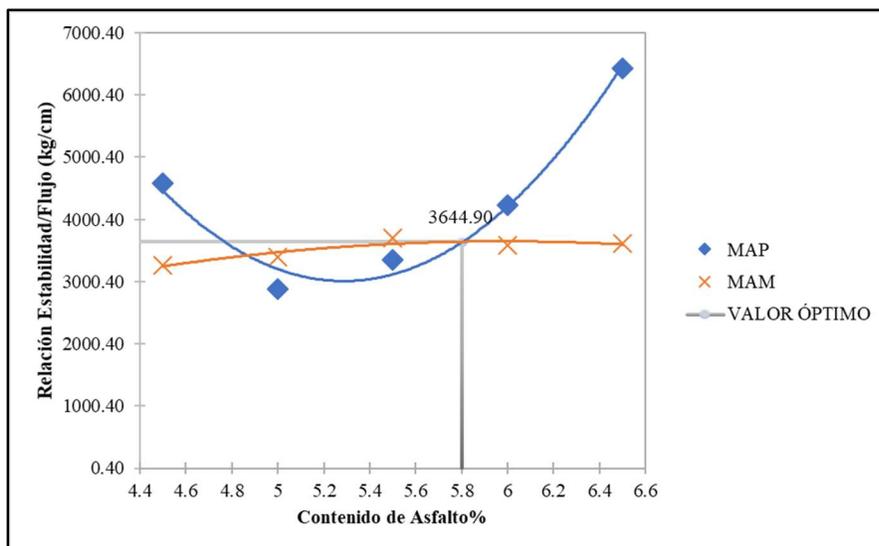
Gráfico comparativo Relación de Polvo-Asfalto de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza un incremento de la MAM con respecto a la MAP, los resultados están acorde a los indicadores de diseño.

Figura 34

Gráfico comparativo Relación de Estabilidad-Flujo de la MAP y MAM



Nota. Se visualiza una mejor relación en la MAM la cual se encuentra acorde a las especificaciones técnicas de diseño mientras que la MAP se encuentra dentro de los límites de diseño.

3.2. Discusión

Luego de haber obtenido nuestros resultados de mezcla modificada con PET aplicando el método Marshall para tránsito pesado, el porcentaje óptimo que se obtuvo al incluir el PET triturado es de 0.5% al 5.80% de óptimo contenido de bitumen, ambos contenidos son en la relación al peso total de la muestra.

(Agha y otros, 2023) en su investigación obtuvo un porcentaje de PET que equivale a un 0.26% del peso de la briqueta, dichos resultados determinados para un tránsito pesado se evaluó la Estabilidad Marshall, la cual disminuyó en un 0.85%, mientras que el flujo aumentó un 6%. Dichos resultados variaron significativamente en relación a los datos hallados, ya que en mencionada investigación se empleó porcentajes del 3% al 5.5% alcanzando así un % bitumen de 4.341%, lo cual pudo influir en el no incremento de Estabilidad, por otra parte, se coincide en que el agregar PET aumenta el Flujo, ya que en ambos casos superaron el límite superior de diseño, asimismo, se coincide en la gradación de los materiales pétreos al encontrarse la misma clasificación, en ambos casos el tamaño máximo de agregado fue de $\frac{3}{4}$ ".

(Ahmad & Ahmad, 2022), en su investigación obtuvo un porcentaje de PET que equivale a un 0.6% con respecto al peso de la briqueta, los valores incrementaron en Estabilidad en un 26.16% en comparación a la tradicional, mientras que el Flujo disminuyó en un 17.74%. De los valores obtenidos en dicha investigación, se coincide de manera muy cercana con el contenido óptimo de PET, como también en el incremento de Estabilidad, sin embargo, el Flujo no coincide, esto pudo haber influido al no considerar el porcentaje de vacíos en un 4% sino en un 4.2%, cabe recalcar que a medida que se añade PET a la mezcla hace que la mezcla modificada sea duradera, lo cual quiere decir que existirá un menor índice de deformación.

En la investigación de (Mashaan y otros, 2022) se logra coincidir que existieron mejoras con respecto a la estabilidad Marshall logrando alcanzar un 19.78 kN y en el estudio desarrollado se logró un 19.70 kN. El óptimo contenido de PET se encuentra cerca al resultado de dicha investigación, ya que se empleó un 8% con respecto al peso del cemento asfáltico, lo que indica

aproximadamente un 0.4% con respecto al peso de la mezcla, mientras que en caso de estudio el mejor valor obtenido fue al 0.5% de PET.

De acuerdo a la investigación (Movilla Quesada y otros, 2019) se coincide que se presentan buenos resultado al añadir porcentajes mínimos de PET demostrando resultados aceptables al incorporar 6% y 14% con respecto % ideal de bitumen, esto aumentó la resitencia a la deformación, tal como se determinó en el presente estudio, por otra parte, se discute la precisión de Movilla Quesada y otros, 2019 al indicar que las normas chilenas como límite superior para tránsito pesado con respecto al parámetro de flujo máximo es 4mm, lo que hizo que la mezcla modificada cumpla con los requisitos en cambio mediante la EG-2019 y las normas ASTM D6926 y ASTM D6927 indican que el límite superior de diseño que compete a flujo es 3.5mm y es por ello que no se cumplió con dicho parámetro.

En su investigación (Machsus y otros, 2019) obtuvo resultados de calidad de los agregados pétreos favorables, aquellos lograron cumplir con la caracterización físico-mecánico que se necesita para utilizar en el diseño de mezclas, tal como se determinó en dicha investigación, por otra parte, se coincide que el % ideal de bitumen se alcanzó en un 5.7%, ya que el resultado que se halló en la presente investigación es a un 5.8%. Por otra parte, el ideal contenido de PET fue 3% de acuerdo al peso del asfalto, lo que significa un 0.20% con respecto a la mezcla asfáltica, asimismo, (Choudhary y otros, 2018) corrobora que al añadir PET en porcentajes pequeños, los resultados son más favorables, este obtuvo un óptimo contenido de PET al 5% con respecto al contenido de asfalto, lo que significó un 0.3% de acuerdo al peso total de la muestra, dichos valores se encuentran muy cercanos al obtenido que fue 0.50%

(Luque León, 2019) obtuvo un porcentaje ideal de bitumen al 6.7% y el PET se encontró en un 6% al peso del bitumen, lo que significa que el PET sea 0.4% del peso total de la muestra. Se logra corroborar que estos valores se encuentran acordes a los datos obtenidos en esta investigación como también, la mejora en cuanto a estabilidad, lo cual hace de esta mezcla resistente a cargas de tránsito.

(Berrío Alzate, 2017), en su investigación obtuvo un contenido óptimo de PET al 1% y 5.3% de cemento asfáltico, dichos valores se muestran muy cercanos a los números obtenidos en la presente investigación, por lo cual no varían significativamente, ya sea por las proporciones utilizadas en la dosificación de la mezcla o por su gradación de los áridos, por otra parte, también se incrementaron en los valores de resistencia a la deformación.

(Aimacaña Iza & Paredes Sandoval, 2017) determinó que el óptimo contenido de PET para MAM es del 1%, mientras que 6% es el óptimo contenido de cemento asfáltico, dichos valores son muy cercanos a alcanzado en la presente investigación, como también el % vacíos los cuales están entre 3 a 5% y en estabilidad como indican los parámetros de diseño.

(Ahmad & Ahmad, 2022) , (Aimacaña Iza & Paredes Sandoval, 2017), y (Luque León, 2019), afirman que agregar PET no mejora el flujo Marshall, es más aumenta el contenido de vacíos y la estabilidad Marshall lo cual hace que la mezcla modificada será duradera, esto quiere decir que existirá un menor índice de deformación.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Habiendo desarrollado la investigación titulada “Elaboración de mezcla asfáltica modificada con botellas plásticas recicladas aplicando el método Marshall para tránsito pesado”, se concluye que agregar PET reciclado en la MAM para tránsito pesado en un 0.5% de PET al 5.8% del ideal contenido de bitumen, mejorando su comportamiento con respecto a la Estabilidad Marshall mientras que el resto de los parámetros de diseño Marshall se mantienen dentro de los requerimientos exigidos, excepto el Flujo Marshall que sobrepasa el límite superior de diseño lo cual no cumple con las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción (EG-2013) establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se obtuvo la caracterización física y mecánica de los agregados pétreos obtenidos de la Cantera de Batangrande (Planta de asfalto del Gobierno Regional de Lambayeque), los cuales cumplen con una gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC-02), estos poseen un buen comportamiento debido a los resultados de control de calidad que se muestran en la Tabla 2 y Tabla 3, cuyos agregados cumplen con los requerimientos exigidos en la EG-2013.

Se estimó el óptimo contenido de cemento asfáltico mediante el método computacional y considerando el 4% Vacíos, como lo establece el método Marshall, dando como resultado óptimo un 5.8% de bitumen con incorporación de PET al 0.5%.

Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica patrón: Peso Específico al 2.34 gr/cm³, Vacíos de Aire al 4%, VMA 15.2%, V.LL.C.A. 73.5%, Relación polvo/asfalto al 0.78, Flujo al 13.21 (3.30mm), Estabilidad al 18.27 kN y Relación Estabilidad/Flujo al 3777.6 kg/cm. De igual forma se determinó para la mezcla asfáltica modificada: Peso Específico al 2.32 gr/cm³, Vacíos de Aire al 4.10%, V.M.A. al 16.2%, V.LL.C.A al 73.86%, Relación polvo/asfalto al 0.86, Flujo al 15.24 (3.81mm), Estabilidad al 19.70kN y Relación Estabilidad/Flujo al 3644.90kg/cm.

Se verificó que la Estabilidad de la MAM mejora un 7.83% en comparación a la MAP, mientras que el Flujo aumentó en un 15.45%, esto quiere decir que la medida de deformación excede el límite superior de diseño, lo cual no es adecuado, debido a que si la deformación al óptimo contenido de asfalto sobrepasa dicho límite, la mezcla se considera plástica y no estable, mientras que la mezcla asfáltica patrón se encuentra dentro de los requerimientos de diseño, esto significa que posee mayor capacidad de carga a la deformación permanente.

4.2. Recomendaciones

De acuerdo a la conclusión general del proyecto de investigación realizado, es recomendable que para un tránsito pesado se utilice la MAP, debido a que presenta buena capacidad a las cargas repetidas y mejor resistencia a la deformación sin agrietarse, sin embargo, la MAM en indicador de Flujo Marshall supera el límite superior de diseño, lo cual hace de la mezcla asfáltica que sea inestable cuyas consecuencias podrían desarrollar ahuellamientos, ondulaciones y otras patologías que generen cambios en la mezcla.

Es de gran importancia que, al realizar la gradación de los áridos, estos cumplan con las especificaciones de MAC, ya sea MAC-01, MAC-02 y MAC-03. Se recomienda a los profesionales que se encargan del diseño de la mezcla asfáltica en caliente, determinar mediante ensayos la caracterización física y mecánica de los áridos pétreos, ya que de ello dependerá si el árido que se va a utilizar es adecuado o no emplearlo en el diseño, siguiendo los requerimientos exigidos por la EG-2013 del MTC.

Es recomendable que al determinar el % ideal de bitumen, se evalué mediante la ecuación computacional que se basa en la granulometría combinada de diseño y nos aproxima a un valor muy cercano al real, como también tomando en cuenta que el % bitumen se encuentre al 4% del indicador volumétrico de vacíos de aire como lo establece el método Marshall.

Es importante que, al realizar los procedimientos de diseño de la MAC, se eviten errores mínimos en los distintos ensayos, tomando en cuenta la temperatura del mezclado y

compactado, si no se realiza el más mínimo control de calidad, estos generarían gran problema al alcanzar los indicadores volumétricos diseño. Al realizar los ensayos de resistencia a la deformación plástica, previamente se debe anotar de las alturas de cada muestra como también haber zambullido en agua a maría a 60°C entre 30-40 minutos.

El equipo Marshall deberá estar calibrado y deberá considerarse un instrumento de grabación que enfoque el medidor de flujo y el medidor de carga de resistencia considerando que estas se encuentren en cero, para no tener ningún problema al tomar las lecturas máximas. Se recomienda que, para otros estudios de mezcla asfáltica modificada con PET, no añadir porcentajes superiores al 0.5%, debido a que la mezcla asfáltica posee un flujo fuera del límite superior de diseño en comparación a la mezcla patrón.

REFERENCIAS

- Abdalrhman Abraham, M., Ahmed Suliman, B., & Nur Izzi, M. (2020). A Review of the Utilisation of Recycled Waste Material as an Alternative Modifier in Asphalt Mixtures. *Civil Engineering Journal*, 6. [https://doi.org/10.28991/cej-2020-SP\(EMCE\)-05](https://doi.org/10.28991/cej-2020-SP(EMCE)-05)
- Abuaddous, M., Taamneh, M., & Rabab'ah, S. (2021). The potential use of recycled polyethylene terephthalate (RPET) plastic waste in asphalt binder. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14, 579–587. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0120-2>
- Adhitya, B., Pataras, M., Kadarsa, E., & Nurainiyah, F. (2019). The Utilization of Plastics Waste in Flexible Pavement Hot Rolled Sheet and Asphalt Concrete Wearing Course with Marshall Immersion and Cantabro Test. *Conference Series*, 1500(012067). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012067>
- Agha, N., Hussain, A., Ali, A., & Qiu, Y. (2023). Performance Evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) Containing Polyethylene Terephthalate (PET) Using Wet and Dry Mixing Techniques. *Polymers*, 15(5), 1211. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym15051211>
- Ahmad, A., Razali, A., & M. Razelan, I. (2017). Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in asphalt pavement: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 203. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/203/1/012004>
- Ahmad, M., & Ahmad, S. (2022). The impact of polyethylene terephthalate waste on different bituminous designs. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(53). <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00104-5>
- Aimacaña Iza, J., & Paredes Sandoval, V. (2017). *Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25265>

- Alvarez Cabrera, A. R., Sosa Gonzales, J., Duran Ramírez, G., & Miranda Pacheco, L. (2020). Improved mechanical properties of a high plasticity clay soil by adding recycled PET. *Materials Science and Engineering*, 758(012075). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/758/1/012075>
- Arun, L., Akkachai, P., Chuthamat, L., & Saravut, J. (2017). Utilization of recycled plastic and natural rubber in asphalt concrete to improve performance of flexible pavement: Laboratory investigation. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 24, 455-464.
- Asphalt Institute. (2014). *Asphalt Mix Design Methods*.
- Becerril-Arreola, R., & Bucklin, R. (2021). Beverage bottle capacity, packaging efficiency, and the potential for plastic waste reduction. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82983-x>
- Ben Zair , M., Mohd Jakarni, F., Muniandy , R., & Hassim , S. (2021). A brief review: Application of recycled polyethylene terephthalate in asphalt pavement reinforcement. *Sustainability*, 13(1303). <https://doi.org/10.3390/su13031303>
- Berrió Alzate, A. (2017). *Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo*. Universidad Nacional de Colombia . <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63316>
- Choudhary, R., Kumar, A., & Murkute, K. (2018). Properties of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) Modified Asphalt Mixes: Dependence on PET Size, PET Content, and Mixing Process. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*(10797). <https://doi.org/10.3311/ppci.10797>
- Corbacho Chipana, J. (2019). *Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018*. Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3571>

- Dalhat, M., & Al-Abdul Wahhab, H. (2017). Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(4), 349-357. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1088150>
- Durán Ramírez, G., Astorayme Salazar, L., & Ramón Díaz, F. (2019). Shear strength of a reinforced clayey soil with crushed polyethylene terephthalate. *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*. <https://doi.org/10.1109/CONIITI48476.2019.8960846>
- Elgegren Lituma, M. (2012). *Poliésteres insaturados elaborados a partir del reciclaje químico de poli(tereftalato de etileno), PET, y su aplicación como matriz de encapsulamiento de sales*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/147986>
- Fikri, H., Subagja, A., & D Manurung, A. (2019). Experimental characteristic of PET plastic bottle waste addition on asphalt concrete wearing course compound. *Materials Science and Engineering*, 732(012017). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012017>
- Flores León, P. (2019). *Evaluación de la adición de fibra Pet provenientes de reciclaje de botella a la subrasante del suelo, en el área de estacionamiento de la clínica de la USAT*. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/2125>
- García López, T., Tipian Mori, P., & Vásquez Noblecilla, L. (2019). *Informe Defensorial N° 181 – ¿Dónde va nuestra basura?* <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2019/11/INFORME-DEFENSORIAL-181.pdf>
- Hendrianie, N., Juliastuti, S., Darmawan, R., Widjonarko, Aini, F., & Hakim, M. (2018). Utilization of plastic waste with mix plastic softening agregate method as performance of stability and quality asphalt concrete. *Materials Science and Engineering*, 543(012090). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012090>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*.
- Khoiri, M., Machsus, M., Firdaus Mawardi, A., & Anggardha Yanotama, W. (2019). Effect of Compaction Temperatures on Marshall Properties on Hot Rolled Sheet-Base mixture with

- the addition of plastic waste. *Earth and Environmental Science*, 436(012019).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/436/1/012019>
- Luque León, A. M. (2019). *Influencia de la incorporación de Tereftalato de Polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico - Juliaca, 2018*. Universidad Nacional del Altiplano.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13230>
- Machsus , M., Basuki, R., Firdaus Mawardi, A., Khoiri, M., Firdausi, F., & Sukobar and Moh. (2019). Utilization of Plastic Bottles Waste in Asphalt Concrete Mixture. *Earth and Environmental Science*, 436(012005). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/436/1/012005>
- Mashaan, N., Chegenizadeh , A., & Nikraz, H. (2022). Evaluation of the Performance of Two Australian Waste-Plastic-Modified Hot Mix Asphalts. *Recycling*, 7(2), 16.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/recycling7020016>
- Minaya Gonzáles , S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*.
- Movilla Quesada, D., Raposeiras, A., & Olavarría, J. (2019). Effect of recycled polyethylene terephthalate (PET) fiber on the fracture resistance of asphalt mixtures. *Hindawi*, 2019(6969826), 6. <https://doi.org/10.1155/2019/6969826>
- Padilla Rodríguez, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*.
<http://hdl.handle.net/2099.1/3334>
- Palma Guevara, H., & Tenesaca Campos, Fernanda Fabiola. (2020). *Estudio de la degradabilidad del PET (Polietileno Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18373>
- Paredes, S., Ramirez, J., & Durán, G. (2020). Experimental study of the mechanical properties of a silty sand with recycled PET. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.379>

- Puican Olivos , A. L. (2018). *Propuesta de una planta de reciclaje de residuos de papel, cartón, vidrio y plástico para la reducción del impacto ambiental en Ciudad Eten*. (Tesis de Licenciamiento).
http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1597/1/TL_PuicanOlivosAna.pdf
- Rodón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño* (Primera ed.). <https://books.google.com.pe/books?id=zuwcDgAAQBAJ&pg=SA3-PA60&dq=composici%C3%B3n+de+la+mezcla+asf%C3%A1ltica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi-w66zjNLwAhXg-AKHcykCYoQ6AEwBXoECAkQAg#v=onepage&q=composici%C3%B3n%20de%20la%20mezcla%20asf%C3%A1ltica&f=false>
- Stoll, C., Hernández, C., & Olivera, F. (2019). Lot application proposal in the recycling of PET bottles in Lima. *IEEE 1st Sustainable Cities Latin America Conference (SCLA)*.
<https://doi.org/10.1109/SCLA.2019.8905647>
- Suasnavas Flores, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13224>
- Sumiati, M., & Flaviana T, L. (2018). Asphalt Modified Plastic Waste To Defend Damage In Asphalt Concrete (Ac-Wc). *Conference Series*, 1167(012011).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1167/1/012011>
- Torre C., A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para Ingenieros Civiles*.

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumentos de recolección de datos - Informes de laboratorio técnico



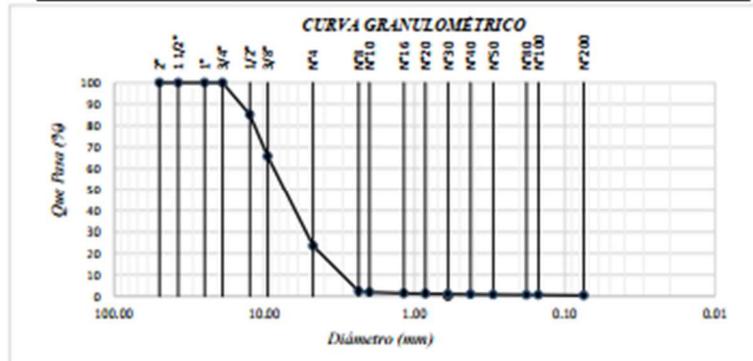
Prolongación Bolognesi Km. 3.5
 Pimentel – Lambayeque
 R.U.C. 20480781334
 Email: lemswycel@gmail.com

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Sábado, 18 de junio del 2022.

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

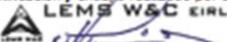
Muestra : Agregado Grueso Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

Malla		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado
Pulg.	(mm.)			
2"	50.000	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	14.82	14.82	85.2
3/8"	9.500	19.56	34.38	65.6
Nº 4	4.750	42.18	76.56	23.4
Nº 8	2.360	21.08	97.64	2.4
Nº 10	2.000	0.40	98.05	2.0
Nº 16	1.180	0.54	98.59	1.4
Nº 20	0.850	0.19	98.78	1.2
Nº 30	0.600	0.24	99.02	1.0
Nº 40	0.425	0.13	99.14	0.9
Nº 50	0.300	0.09	99.23	0.8
Nº 80	0.180	0.12	99.35	0.7
Nº 100	0.150	0.09	99.44	0.6
Nº 200	0.075	0.21	99.65	0.4



Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENsayos DE MATERIALES Y SUELOS

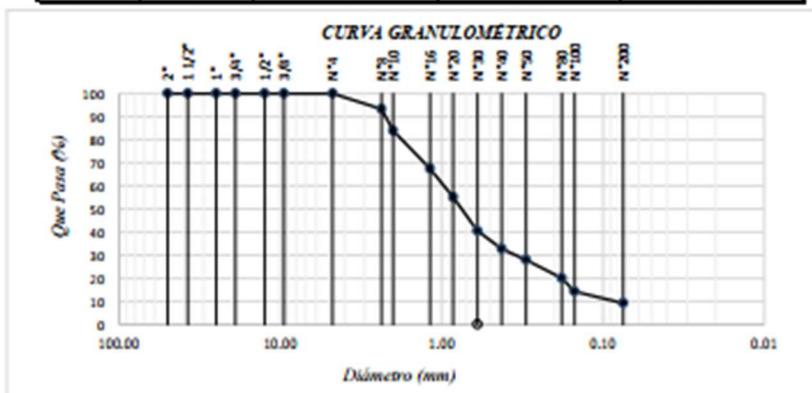

Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : **ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO**
 Proyecto / Obra : **TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".**
 Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.**
 Fecha de apertura : **Jueves, 16 de junio del 2022**
 Inicio de ensayo : **Jueves, 16 de junio del 2022**
 Fin de ensayo : **Sábado, 18 de junio del 2022.**

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

Muestra : **Agregado Fino** Cantera : **Planta de Asfalto - Batangrande**

Malla		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado
Pulg.	(mm.)			
2"	50.000	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.750	0.0	0.0	100.0
Nº 8	2.360	6.7	6.7	93.3
Nº 10	2.000	9.4	16.1	83.9
Nº 16	1.180	16.5	32.6	67.4
Nº 20	0.850	12.3	44.9	55.1
Nº 30	0.600	14.5	59.4	40.6
Nº 40	0.425	7.8	67.2	32.8
Nº 50	0.300	4.8	72.0	28.0
Nº 80	0.180	7.9	79.9	20.1
Nº100	0.150	5.7	85.6	14.4
Nº200	0.075	5.1	90.7	9.3



Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



WILSON CLAYA AGUILAR
 TEC. ENsayos de MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

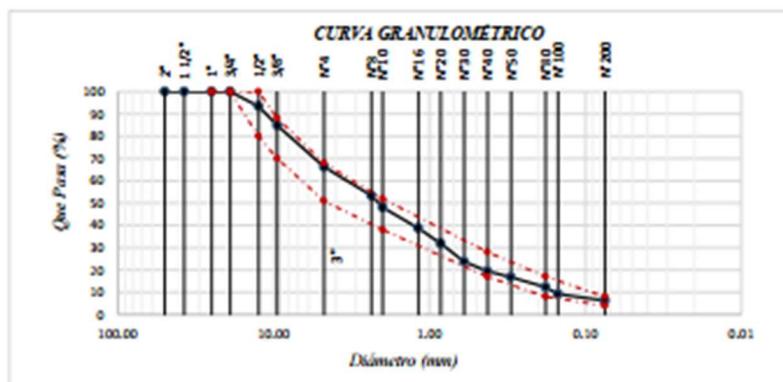
Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : **ALVINOS ARBAIZA JOAN FERNANDO**
 Proyecto / Obra : **TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".**

Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.**
 Fecha de apertura : **Jueves, 16 de junio del 2022**
 Inicio de ensayo : **Jueves, 16 de junio del 2022**
 Fin de ensayo : **Sábado, 18 de junio del 2022.**

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

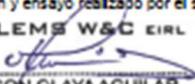
Muestra : **Dosificación 55% de Agregado Fino + 44% de Agregado grueso + 1% de Filler Mineral**

Malla		44.0	55.0	1.0	100.0	GRADACIÓN MAC - 2
		% Que Pasa				
Pulg.	(mm.)	A. Grueso	A. Fino	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	
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100
1/2"	12.500	85.2	100.0	100.0	93.5	80 + 100
3/8"	9.500	65.6	100.0	100.0	84.9	70 + 88
Nº 4	4.750	23.4	100.0	100.0	66.3	51 + 68
Nº 8	2.360	2.4	93.3	100.0	53.4	
Nº 10	2.000	2.0	83.9	100.0	48.0	38 + 52
Nº 16	1.180	1.4	67.4	100.0	38.7	
Nº 20	0.850	1.2	55.1	100.0	31.9	
Nº 30	0.600	1.0	40.6	100.0	23.8	
Nº 40	0.425	0.9	32.8	100.0	19.4	17 + 28
Nº 50	0.300	0.8	28.0	100.0	16.7	
Nº 80	0.180	0.7	20.1	100.0	12.4	8 + 17
Nº 100	0.150	0.6	14.4	100.0	9.2	
Nº 200	0.075	0.4	9.3	100.0	6.2	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 : **1506A-22/LEMS W&C**
Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
Fin de ensayo : Sábado, 18 de junio del 2022.

NORMA : AGREGADO. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

REFERENCIA : N.T.P. 400.021

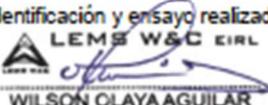
Muestra: Agregado Grueso

Canreta : Planta de Asfalto - Batangrande

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	2.673
2.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	1.75

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


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



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022.

NORMA : AGREGADO. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

REFERENCIA : N.T.P. 400.022

Muestra : Agregado Fino

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	2.542
2.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	1.21

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 : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de Junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Lunes, 20 de Junio del 2022.
 Fin de ensayo : Miércoles, 22 de Junio del 2022.

ENSAYO : AGREGADOS. Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.
 REFERENCIA : N.T.P. 400.040

Muestra : Agregado Grueso

Carrera : Planta de Asfalto - Batangrande

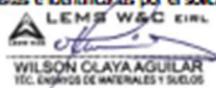
TAM2 (P44)	ABERTURA (MM)	AGREGADO GRUESO		PESO DE PARTÍCULAS CHATAS	PESO DE PARTÍCULAS ALARGADAS	PESO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	(%) CORREGIDO
		PESO RET. GRAD. OVS.	(%) RET.					
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.000							
1/2"	12.700	772.8	51.52	12.4	22.3	0.0	4.49	2.31
3/8"	9.500	727.2	48.48	94.5	14.2	0.0	14.95	7.25
N° 4	4.750							
TOTAL		1500.0						

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)

9.6

OBSERVACIONES :

- Relación usada: 1/3 (Espesor / Longitud).
- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.



WILSON CLAVA AGUILAR
 TEC. ENGENYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obras : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022.

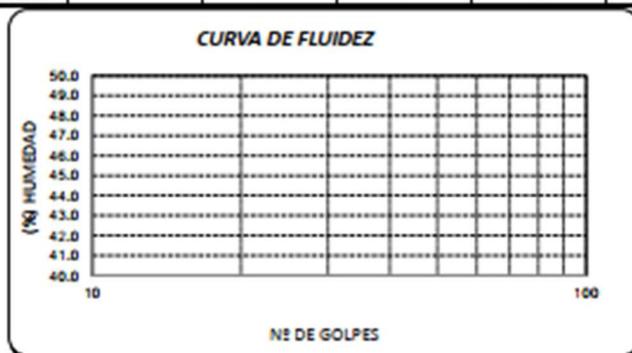
ENSAYO SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo.
 REFERENCIA N.T.P. 399.129

Identificación:

Muestra : Agregado Fino

Canteta : Planta de Asfalto - Batangrande

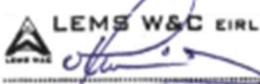
Ensayo	Límite Líquido			Límite Plástico	
	L1	L2	L3	P1	P2
N° Tara	-	-	-	-	-
N° Golpe	-	-	-	-	-
% Humedad	-	-	-	-	-



Límite Líquido	N.P.
Límite Plástico	N.P.
Índice de Plasticidad	N.P.

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificadas y ensayorealizado por el solicitante.
- La muestra fue tamizada por la malla N°40



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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

INFORME

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obras : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Sábado, 18 de junio del 2022.

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

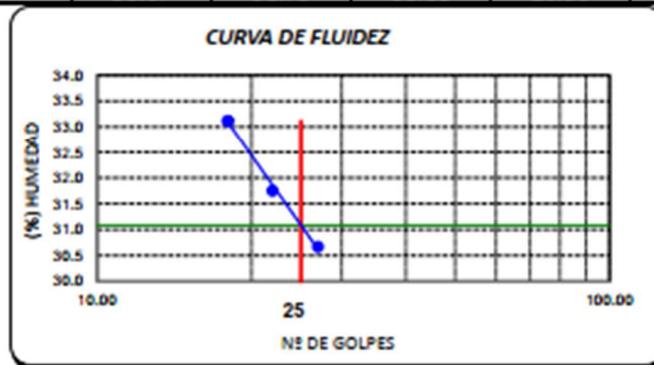
REFERENCIA N.T.P. 399.131

Identificación:

Muestra : Agregado Fino

Canreta : Planta de Asfalto - Batangrande

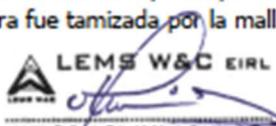
Ensayo	Límite Líquido			Límite Plástico	
	L1	L2	L3	P1	P2
Nº Tara					
Nº Golpe	27	22	18	-	-
% Humedad	30.67	31.75	33.11	28.30	29.46



Límite Líquido	31.1%
Límite Plástico	28.9%
Índice de Plasticidad	2.2%

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificadas y ensayorealizado por el solicitante.
- La muestra fue tamizada por la malla N°200



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 : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Martes, 21 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Jueves, 23 de junio del 2022.

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea.
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.152 : 2002

<u>Cantera</u>	: Planta de Asfalto - Batangrande	
<u>Muestra</u>	: Agregado Fino	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1000
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.10

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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




Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

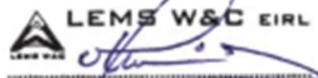
Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Martes, 21 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Jueves, 23 de junio del 2022.

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea.
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 399.152 : 2002

<u>Cantera</u>	: Planta de Asfalto - Batangrande	
<u>Muestra</u>	: Agregado Grueso	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1000
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.10

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022.

ENSAYO : AGREGADOS. Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso
 REFERENCIA : MTC E 210, ASTM D 6821

Muestra : Agregado Grueso

Carrera : Planta de Asfalto - Batangrande

A. Partículas con una cara fracturada						
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C+D
1 1/2"	1"	3000				
1"	3/4"	1500				
3/4"	1/2"	500	463.54	92.71	71.4	6622.0
1/2"	3/8"	200	159.94	79.97	28.6	2284.9

$$\text{UNA CARA FRACTURADA (\%)} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = \frac{8906.9}{100.0} = 89.1 \%$$

B. Partículas con una o más caras fracturadas						
Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C+D
1 1/2"	1"	3000				
1"	3/4"	1500				
3/4"	1/2"	500	429.23	85.85	71.4	6131.9
1/2"	3/8"	200	156.15	78.08	28.6	2230.7

$$\text{DOS A MÁS CARA FRACTURADA (\%)} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = \frac{8362.6}{100.0} = 83.6 \%$$

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 : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022.

Ensayo : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)
 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

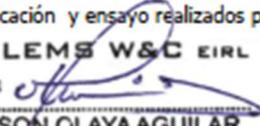
Referencia : NTP 400.017:2011 (revisada el 2016)
 NTP 339.185:2013

Muestra : Agregado Grueso Cantera: Planta de Asfalto - Batangrande

Peso Unitario Suelto Humedo	(Kg/m ³)	1389
Peso Unitario Suelto Seco	(Kg/m ³)	1384
Contenido de Humedad	(%)	0.35
Peso Unitario Compactado Humedo	(Kg/m ³)	1487
Peso Unitario Compactado Seco	(Kg/m ³)	1482
Contenido de Humedad	(%)	0.35

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizados por el solicitante.



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



 **Miguel Angel Ruiz Perales**
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

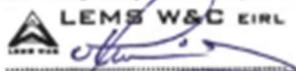
Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022
 Fin de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022

ENSAYO : CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland
 NORMA : NTP 334.005

Muestra: **CEMENTO TIPO I - PACASMAYO**

Masa de Cemento Portland	(gr)	64
Vol.inicial kerosene	(ml)	0
Vol.final desplazado kerosene	(ml)	20.3
Densidad	(g/ml)	3.153

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
Inicio de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022
Fin de ensayo : Viernes, 17 de junio del 2022

NORMA : AGREGADO. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

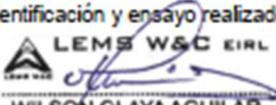
REFERENCIA : N.T.P. 400.022

Muestra : PET (Botellas de plástico trituradas)

1.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(gr/cm ³)	1.318
-----------------------------	-----------------------	-------

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS


 Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLASTICO RECICLADAS, APLICANDO EL METODO MARSHALL PARA TRANSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022.
 Inicio de ensayo : Miércoles, 22 de junio del 2022.
 Fin de ensayo : Miércoles, 29 de junio del 2022.

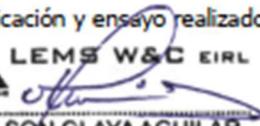
ENSAYO : Método de ensayo normalizado para la determinación de la inestabilidad de agregados por medio del sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

REFERENCIA : NORMA NTP 400.016, MTC E 209-2017

%Pérdida corregida del Ag. Fino	%	6.0
%Pérdida corregida del Ag. Grueso	%	7.0
% TOTAL DE PÉRDIDA		13.0

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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



Miguel Angel Ruiz Perales
Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Lunes, 20 de junio del 2022
 Fin de ensayo : Martes, 21 de junio del 2022

Ensayo : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)
 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

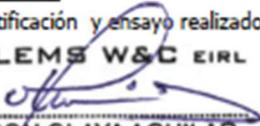
Referencia : NTP 400.017:2011 (revisada el 2016)
 NTP 339.185:2013

Muestra que pasa el Tamiz N° 4 : Botellas de plástico trituradas (PET)

Peso Unitario Suelto Humedo	(Kg/m ³)	294
Peso Unitario Suelto Seco	(Kg/m ³)	294
Peso Unitario Compactado Humedo	(Kg/m ³)	343
Peso Unitario Compactado Seco	(Kg/m ³)	343

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizados por el solicitante.



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




Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
Inicio de ensayo : Lunes, 20 de junio del 2022
Fin de ensayo : Jueves, 23 de junio del 2022

ENSAYO : 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 de Los Ángeles

REFERENCIA : NORMA N.T.P. 400.019

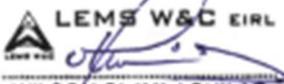
Muestra : Agregado Grueso

Cantera : Planta de Asfalto - Batangrande

% de desgaste por abrasión	%	14.14
----------------------------	---	-------

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500


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



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
Solicitante : ALVINES ARBAIZA JOAN FERNANDO
Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de apertura : Jueves, 18 de junio del 2022
Inicio de ensayo : Lunes, 20 de junio del 2022
Fin de ensayo : Martes, 21 de junio del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.

REFERENCIA : NTP 339.146:2000 (revisada el 2014)

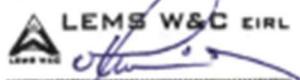
Identificación:

Muestra : Agregado Fino Canreta : Planta de Asfalto - Batangrande

EQUIVALENTE DE ARENA (%)	60
---------------------------------	-----------

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.
- La muestra fue tamizada por la malla N°4


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


 **Miguel Angel Ruiz Perales**
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Lunes, 04 de julio del 2022
 Fin de ensayo : Jueves, 07 de julio del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Medra	Pet	Arena	Filler	Total	Támicos ASTM															
						% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 10	No 40	No 50	No 80	No 100	No 200	
%	44	0.0	55	1	100	100	100	93.5	84.9	66.3	53.4	48	19.4	16.7	12.4	9.2	6.2				
BRQUETA N°				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		5.00		5.50		6.00		6.50								
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla				42.02		41.80		41.58		41.36		41.14								
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla				52.53		52.25		51.98		51.70		51.43								
4	% de botellas de plástico triturado (PET)				0.00		0.00		0.00		0.00		0.00								
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla				0.96		0.95		0.95		0.94		0.94								
6	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.018		1.018		1.018		1.018		1.018								
7	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.673		2.673		2.673		2.673		2.673								
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.542		2.542		2.542		2.542		2.542								
9	peso específico de Confitillo (bulk)				2.628		2.628		2.628		2.628		2.628								
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc				3.15		3.15		3.15		3.15		3.15								
11	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc																				
12	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc																				
13	Altura promedio de la briqueeta (cm)			6.28	6.38	6.43	6.39	6.41	6.25	6.37	6.35	6.20	6.28	6.27	6.33	6.29	6.34	6.24			
14	Masa de la briqueeta al aire (gr)			1189.00	1195.00	1182.00	1200.00	1200.00	1176.00	1200.00	1170.00	1190.00	1190.00	1200.00	1190.00	1200.00	1200.00	1200.00			
15	Masa de la briqueeta al agua por 60' (gr)			1189.20	1196.80	1183.50	1201.70	1201.40	1172.40	1206.40	1195.10	1196.70	1195.10	1201.90	1190.30	1199.30	1199.90				
16	Masa de la briqueeta desplazada (gr)			653.86	683.33	670.95	688.19	684.19	667.83	693.63	683.53	684.83	689.13	688.63	689.73	685.13	691.53	691.22			
17	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc)			535.34	513.47	512.55	513.51	517.21	504.57	512.77	511.57	511.87	505.97	507.07	512.17	505.17	507.77	508.68			
18	Peso específico Bulk de la Briqueeta			2.221	2.327	2.306	2.337	2.320	2.331	2.340	2.346	2.286	2.352	2.347	2.343	2.356	2.363	2.359			
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.486		2.477		2.443		2.441		2.441				2.408				
20	% de Vacíos (ASTM D 3203)			10.7	6.4	7.2	5.7	6.3	5.9	4.2	4.0	6.4	3.7	3.9	4.0	2.2	1.8	2.0			
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.603		2.603		2.603		2.603		2.603				2.603				
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.667		2.679		2.659		2.681		2.660				2.660				
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.94		1.11		0.83		1.13		0.84				0.84				
24	% de Asfalto Efectivo				3.60		3.95		4.72		4.94		5.71								
25	Relación Polvo/Asfalto				0.6		0.6		0.8		0.8		0.9								
26	V.M.A.			18.5	14.6	15.4	14.7	15.3	14.9	15.0	14.8	17.0	15.1	15.3	15.4	15.4	15.1	15.3			
27	% Vacíos llenos con C.A.			42.5	56.4	53.0	61.6	58.7	60.5	72.1	73.2	62.2	75.7	74.6	73.8	85.9	87.8	86.7			
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)			28.0	7.0	8.0	17.0	15.5	12.0	13.0	12.0	19.0	9.5	15.0	12.0	8.0	7.5	7.0			
29	Estabilidad sin corregir (Kg)			1795.5	1805.1	1779.0	1860.50	1656.80	1426.0	1789.60	1898.70	1880.50	1870.70	1896.50	1960.20	1780.30	1903.00	1850.20			
30	Factor de estabilidad			0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.00			
31	Estabilidad Corregida			1723.68	1805.10	1779.00	1860.50	1656.80	1483.04	1789.60	1898.70	1880.50	1945.48	1972.36	1960.20	1851.51	1979.12	1850.20			
32	Estabilidad / Flujo			1564	6550	5648	2780	2715	3139	3497	4019	2514	5202	3340	4149	5879	6703	6714			

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 03 de julio del 2022
 Fin de ensayo : Miércoles, 04 de julio del 2022

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)

MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	651	651	651	651	651
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	2910	2910	2910	2910	2910
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2309	2306	2298	2296	2292
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3803	3802	3793	3795	3780
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1494	1496	1495	1499	1488
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	601	604	612	614	618
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.486	2.477	2.443	2.441	2.408
CONTENIDO % C.A.	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,

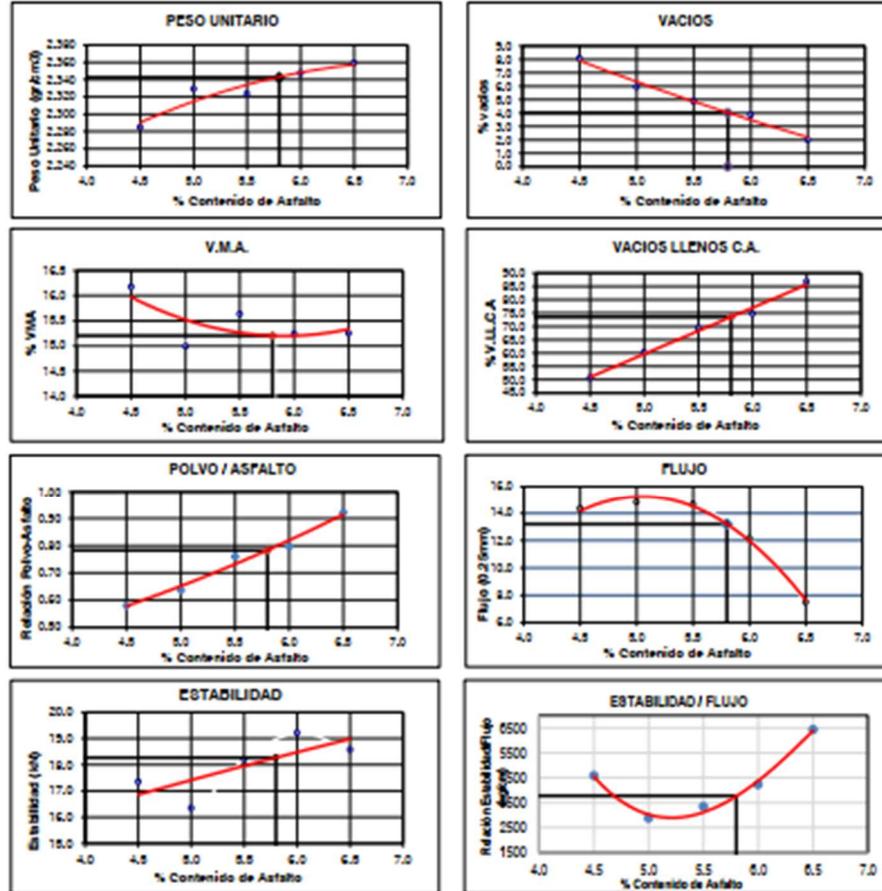


LEMS W&C EIRL
 WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. INGENIERO DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chilclayo, Prov. Chilclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Jueves, 16 de Junio del 2022
 Inicio de ensayo : Lunes, 04 de Julio del 2022
 Fin de ensayo : Jueves, 07 de Julio del 2022



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

GOLPES	76	
% C.A.	6.8	
P. UNITARIO	2.3	
VACIOS	4.0	3 - 5
V.M.A.	15.2	14.0
V. L.L.C.A.	73.6	65-75
POLVO / ASPALTO	0.78	0.6 - 1.3
FLUJO	13.2	8-14
ESTABILIDAD	18.27	8.15kN
ESTABILIDAD/FLUJO	3777.6	1700 - 4000



LEMS W&C EIRL

Certificado INDECOPI N°00137704 RNP Servicios 90608589

Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Pimentel - Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswyc@lemswyc.com

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
Inicio de ensayo : Jueves, 04 de agosto del 2022
Fin de ensayo : Domingo, 07 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Pet	Arena	Filler	Tamices ASTM															
					% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 10	No 40	No 50	No 80	No 100	No 200	
%	44	0.5	55	1	100	100	93.5	84.9	66.3	53.4	48	19.4	16.7	12.4	9.2	6.2				
BRQUETA N°					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	% C.A. en masa de la Mezcla					4.5			5			5.5			6		6.5			
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla					41.80			41.58			41.36			41.14		40.92			
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla					52.25			51.98			51.70			51.43		51.15			
4	% de botellas de plástico triturado (PET)					0.50			0.50			0.50			0.50		0.50			
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla					0.95			0.95			0.94			0.94		0.93			
6	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.018			1.018			1.018			1.018		1.018			
7	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.673			2.673			2.673			2.673		2.673			
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.542			2.542			2.542			2.542		2.542			
9	peso específico de Confitillo (bulk)					2.628			2.628			2.628			2.628		2.628			
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.15			3.15			3.15			3.15		3.15			
11	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc																			
12	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc																			
13	Altura promedio de la briqueta (cm)					6.39	6.45	6.28	6.47	6.50	6.43	6.38	6.50	6.46	6.36	6.22	6.29	6.15	6.37	6.33
14	Masa de la briqueta al aire (gr)					1200.00	1190.00	1190.00	1190.00	1190.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1190.00	1187.00	1189.00	1184.00	1195.00	1190.00
15	Masa de la briqueta al agua por 60'(gr)					1200.60	1197.80	1191.70	1199.50	1192.40	1201.40	1203.00	1201.80	1206.50	1192.60	1187.60	1189.30	1186.90	1196.80	1192.00
16	Masa de la briqueta desplazada (gr)					685.23	671.83	670.83	674.79	677.61	679.63	686.48	678.13	684.43	680.93	681.43	680.33	677.63	682.93	678.73
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)					515	526	521	525	515	522	517	524	522	512	506	509	509	514	513
18	Peso específico Bulk de la Briqueta					2.328	2.262	2.285	2.268	2.312	2.300	2.323	2.292	2.299	2.326	2.345	2.336	2.325	2.325	2.318
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)						2.443			2.431			2.416			2.415			2.412	
20	% de Vacíos (ASTM D 3203)					4.7	7.4	6.5	6.7	4.9	5.4	3.8	5.2	4.9	3.7	2.9	3.3	3.6	3.6	3.9
21	Peso Específico Bulk Agregado Total						2.603			2.603			2.603			2.603			2.603	
22	Peso Específico Efectivo Agregado total						2.615			2.622			2.626			2.647			2.666	
23	Asfalto Absorbido por el Agregado						0.18			0.28			0.34			0.65			0.92	
24	% de Asfalto Efectivo						4.33			4.73			5.18			5.39			5.64	
25	Relación Polvo/Asfalto						0.7			0.8			0.8			0.9			0.9	
26	V.M.A.					14.6	17.0	16.2	17.2	15.6	16.1	15.7	16.8	16.6	16.0	15.3	15.6	16.5	16.5	16.7
27	% Vacíos llenos con C.A.					67.9	56.6	60.0	61.2	68.7	66.5	75.5	69.3	70.6	76.9	81.0	79.1	78.1	78.2	76.8
28	Flujo 0,01'(0,25 mm)					17.0	16.0	20.0	15.0	20.0	17.0	11.0	17.5	19.0	7.5	17.0	18.0	21.0	7.0	17.0
29	Estabilidad sin corregir (Kg)					2061.0	2719.0	2020.0	2281.6	2765.0	1997.0	1951.0	2449.5	2392.0	1733.0	1529.5	1778.5	1825.5	1717.5	1604.5
30	Factor de estabilidad					1.00	0.96	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00
31	Estabilidad Corregida					2061	2610	2020	2190	2765	1997	1951	2352	2392	1733	1591	1779	1826	1718	1605
32	Estabilidad / Flujo					3079	4144	2565	3709	3512	2984	4505	3413	3198	5869	2377	2510	2208	6232	2397

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

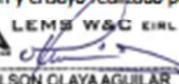
Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRANSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Sabado, 06 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Domingo, 07 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)

PET	0.50%				
	01	02	03	04	05
MUESTRA N°					
1.- PESO DEL FRASCO	651.0	651.0	651.0	651.0	651.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2298.0	2294.5	2290.0	2291.0	2291.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3793.0	3790.5	3788.0	3786.0	3784.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1495.0	1496.0	1498.0	1495.0	1493.0
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	612.0	615.5	620.0	619.0	619.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.443	2.431	2.416	2.415	2.412
CONTENIDO % C.A.	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,



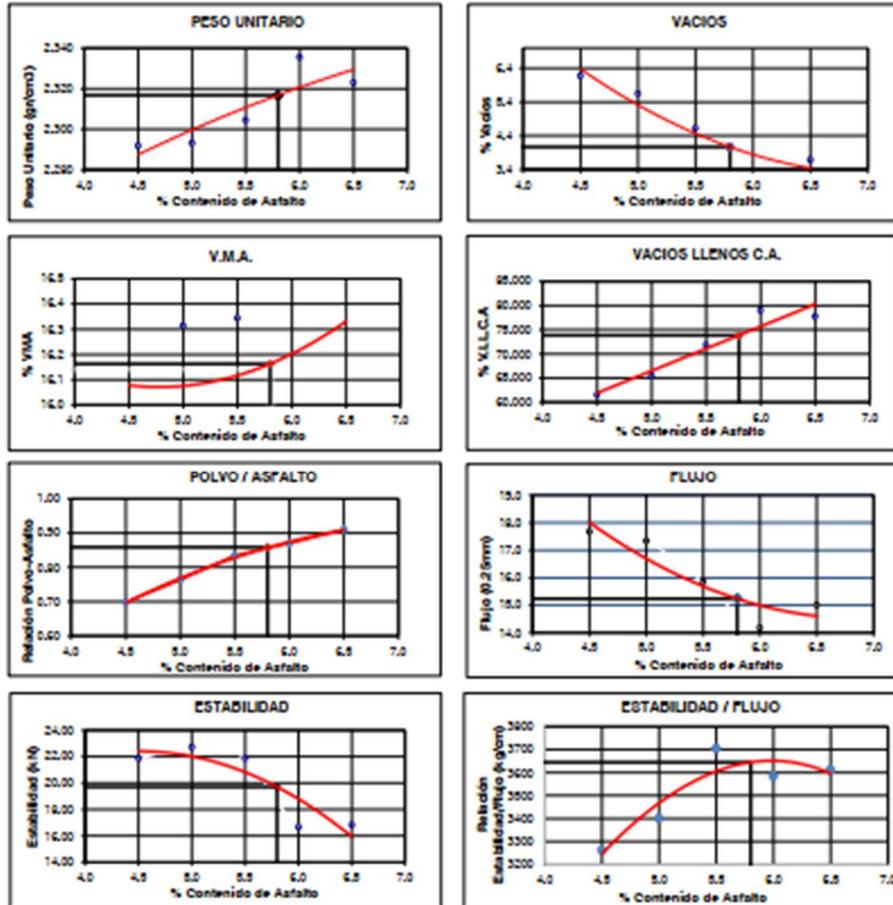
WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. DIGNOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

INFORME

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Jueves, 04 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Domingo, 07 de agosto del 2022



CARACTERÍSTICAS MARSHALL PET 0.6%

GOLPES	75
% C.A.	5.80
P. UNITARIO	2.32
VACIOS	4.1
V.M.A.	16.16
V.LL.C.A.	73.88
POLVO / ASFALTO	0.88
FLUJO	16.24
ESTABILIDAD	19.70
ESTABILIDAD/FLUJO	3844.80



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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246604

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 09 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Viernes, 12 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Pet	Arena	Filler	Tamices ASTM			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 10	No 40	No 50	No 80	No 100	No 200				
	%	44	1	55	1	% pasa Material			100	100	93.5	84.9	66.3	53.4	48	19.4	16.7	12.4	9.2	6.2			
BRIQUETA N°					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				41.58			41.36			41.14			40.92			40.70						
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla				51.98			51.70			51.43			51.15			50.88						
4	% de botellas de plástico triturado (PET)				1.00			1.00			1.00			1.00			1.00						
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla				0.95			0.94			0.94			0.93			0.93						
6	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc				1.018			1.018			1.018			1.018			1.018						
7	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.673			2.673			2.673			2.673			2.673						
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.542			2.542			2.542			2.542			2.542						
9	peso específico de Confitillo (bulk)				2.628			2.628			2.628			2.628			2.628						
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc				3.15			3.15			3.15			3.15			3.15						
11	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc																						
12	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc																						
13	Altura promedio de la briqueta (cm)				6.58	6.49	6.68	6.59	6.51	6.60	6.33	6.41	6.49	6.45	6.45	6.49	6.24	6.21	6.36				
14	Masa de la briqueta al aire (gr)				1200.00	1194.00	1206.00	1200.00	1199.20	1200.00	1190.00	1190.00	1198.00	1204.00	1194.00	1206.00	1180.00	1190.00	1200.00				
15	Masa de la briqueta al agua por 60" (gr)				1201.50	1195.30	1207.30	1200.20	1199.30	1201.80	1190.50	1193.30	1199.80	1204.60	1195.80	1206.90	1181.50	1196.80	1201.40				
16	Masa de la briqueta desplazada (gr)				sumergido				670.67	674.11	673.53	672.90	673.93	673.10	676.63	677.03	680.03	681.43	676.66	682.71	665.83	682.96	687.93
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				531	521	534	527	525	529	514	516	520	523	519	524	516	514	513				
18	Peso específico Bulk de la Briqueta				2.261	2.291	2.259	2.276	2.283	2.270	2.316	2.305	2.305	2.301	2.300	2.301	2.288	2.316	2.337				
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)				2.437			2.420			2.403			2.384			2.361						
20	% de Vacíos (ASTM D 3203)				7.3	6.0	7.3	6.0	5.7	6.2	3.6	4.1	4.1	3.5	3.5	3.5	3.1	1.9	1.0				
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.603			2.603			2.603			2.603			2.603						
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.609			2.609			2.610			2.607			2.599						
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.08			0.09			0.09			0.06			-0.07						
24	% de Asfalto Efectivo				4.42			4.92			5.41			5.95			6.56						
25	Relación Polvo/Asfalto				0.7			0.8			0.9			1.0			1.06						
26	V.M.A.				17.1	15.9	17.1	17.0	16.7	17.2	15.9	16.3	16.3	16.9	17.0	16.9	17.8	16.8	16.1				
27	% Vacíos llenos con C.A.				57.5	62.4	57.3	64.8	66.0	63.8	77.2	75.0	75.0	79.5	79.3	79.4	82.8	88.7	93.8				
28	Flujo 0.075(0.25 mm)				21.0	17.0	11.0	22.0	19.0	19.0	18.0	17.0	18.0	19.0	19.0	18.0	25.0	26.0	23.0				
29	Estabilidad sin corregir (Kg)				2167.5	1560.0	1691.5	2114.5	2089.0	1951.0	2276.5	2282.5	1869.5	1708.5	2352.5	2161.5	1852.0	2301.5	2563.0				
30	Factor de estabilidad				0.96	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00				
31	Estabilidad Corregida				2081	1560	1624	2030	2005	1873	2277	2283	1870	1640	2353	2075	1852	2302	2563				
32	Estabilidad / Flujo				2517	2331	3750	2344	2681	2504	3212	3410	2638	2193	3145	2928	1882	2248	2830				

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante

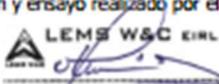
Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLASTICO REICLADAS, APLICANDO EL METODO MARSHALL PARA TRANSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Miércoles, 11 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Viernes, 12 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MÁXIMA (ASTM D2041)

PET MUESTRA N°	1.0%				
	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	651.0	651.0	651.0	651.0	651.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2295.0	2291.0	2287.0	2282.0	2275.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3794.0	3789.0	3784.0	3779.0	3774.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1499.0	1498.0	1497.0	1497.0	1499.0
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	615.0	619.0	623.0	628.0	635.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) /	2.437	2.420	2.403	2.384	2.361
CONTENIDO % C.A.	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

OBSERVACIONES :

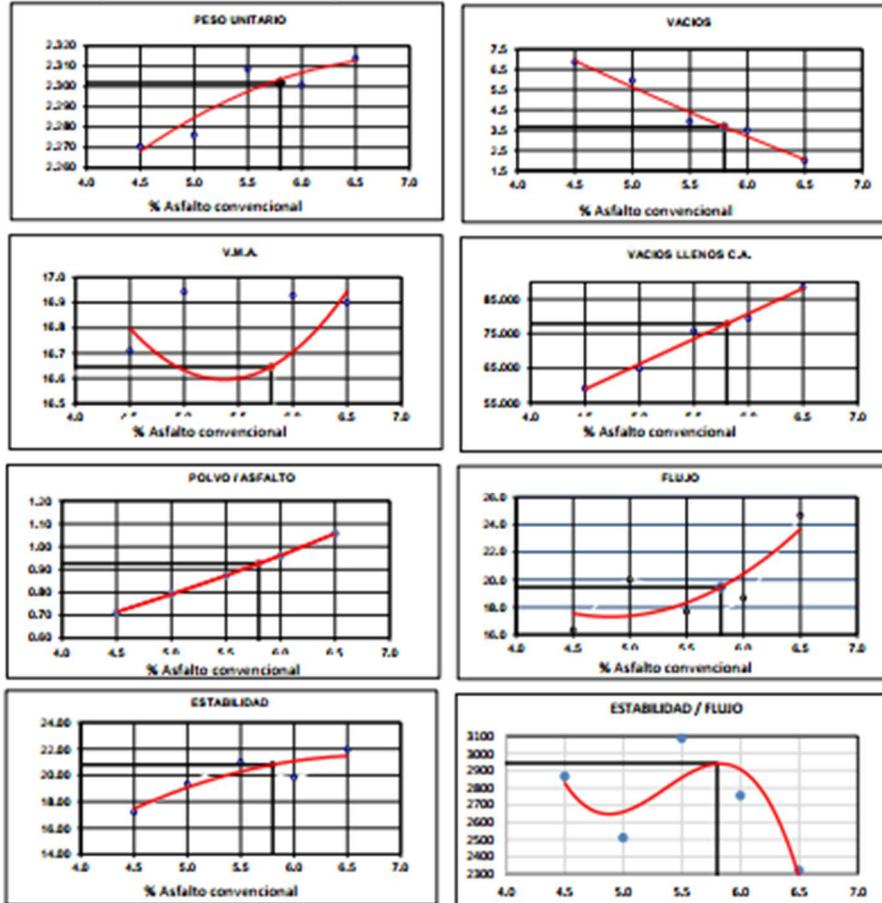
- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,


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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1606A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINO ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLASTICO REICLADAS, APLICANDO EL METODO MARSHALL PARA TRANSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 09 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Viernes, 12 de agosto del 2022



CARACTERISTICAS MARSHALL PET 1.0%

GOLPES	75
% C.A.	5.80
P. UNITARIO	2.302
VACIOS	3.7
V.M.A.	18.8
V.L.L.C.A.	77.9
POLVO / ASFALTO	0.83
FLUJO	19.5
ESTABILIDAD	20.80
ESTABILIDAD/FLUJO	2943.5

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chilayo, Prov. Chilayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Domingo, 14 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Miércoles, 17 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Pet	Arena	Filler	Tamices ASTM														
					% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 10	No 40	No 50	No 80	No 100	No 200
%	44	1.5	55	1	100	100	93.5	84.9	66.3	53.4	48	19.4	16.7	12.4	9.2	6.2			
BRIQUETA N°					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				41.36			41.14			40.92			40.70		40.48			
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla				51.70			51.43			51.15			50.88		50.60			
4	% de botellas de plástico triturado (PET)				1.50			1.50			1.50			1.50		1.50			
5	% Cemento Portland en masa de la Mezcla				0.94			0.94			0.93			0.93		0.92			
6	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc				1.018			1.018			1.018			1.018		1.018			
7	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.673			2.673			2.673			2.673		2.673			
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.542			2.542			2.542			2.542		2.542			
9	peso específico de Confitillo (bulk)				2.628			2.628			2.628			2.628		2.628			
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc				3.15			3.15			3.15			3.15		3.15			
11	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc																		
12	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc																		
13	Altura promedio de la briqueta (cm)				6.60	6.76	6.59	6.47	6.62	6.56	6.47	6.54	6.61	6.43	6.47	6.59	6.41	6.22	6.16
14	Masa de la briqueta al aire (gr)				1198.00	1220.00	1190.00	1180.00	1200.00	1202.00	1200.00	1196.00	1204.00	1190.00	1210.00	1210.00	1195.00	1180.00	1183.00
15	Masa de la briqueta al agua por 60'(gr)				1198.70	1220.50	1197.30	1180.30	1200.10	1205.40	1202.80	1197.30	1205.00	1190.90	1212.40	1211.30	1196.00	1180.20	1185.30
16	Masa de la briqueta desplazada (gr)				664.47	673.85	668.09	661.73	667.33	674.63	679.23	670.00	672.19	671.25	686.53	680.24	676.03	669.41	672.83
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				534	547	529	519	533	531	524	527	533	520	526	531	520	511	512
18	Peso específico Bulk de la Briqueta				2.242	2.232	2.249	2.275	2.252	2.265	2.292	2.268	2.260	2.290	2.301	2.278	2.298	2.310	2.308
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2011)				2.406			2.389			2.368			2.358			2.346		
20	% de Vacíos (ASTM D 3203)				6.8	7.2	6.5	4.8	5.7	5.2	3.2	4.2	4.6	2.9	2.4	3.4	2.0	1.5	1.6
21	Peso Específico Bulk Agregado Total				2.603			2.603			2.603			2.603			2.603		
22	Peso Específico Efectivo Agregado total				2.571			2.571			2.566			2.574			2.580		
23	Asfalto Absorbido por el Agregado				-0.49			-0.49			-0.57			-0.44			-0.36		
24	% de Asfalto Efectivo				4.97			5.46			6.04			6.42			6.83		
25	Relación Polvo/Asfalto				0.8			0.9			1.0			1.0			1.1		
26	V.M.A.				17.7	18.1	17.5	17.0	17.8	17.4	16.8	17.7	18.0	17.3	16.9	17.7	17.5	17.0	17.1
27	% Vacíos llenos con C.A.				61.7	60.0	62.6	72.0	67.9	70.0	80.9	76.1	74.5	83.3	85.7	81.0	88.4	91.0	90.7
28	Flujo 0.01"(0.25 mm)				21.0	16.0	21.0	24.0	19.0	10.0	11.5	17.0	23.0	21.5	21.0	20.0	21.0	27.0	23.5
29	Estabilidad sin corregir (Kg)				2319.0	2221.0	2096.0	2202.0	2380.5	2227.0	2227.0	1895.0	1830.0	2622.6	2619.5	1914.0	2089.5	2425.0	2365.5
30	Factor de estabilidad				0.96	0.89	0.96	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00
31	Estabilidad Corregida				2226	1977	2012	2202	2285	2138	2138	1819	1757	2623	2515	1837	2090	2425	2366
32	Estabilidad / Flujo				2693	3138	2434	2330	3055	5430	4722	2718	1940	3098	3042	2334	2527	2281	2557

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

INFORME

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 16 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Miércoles, 17 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)

PET	1.50%					
	MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO		651.0	651.0	651.0	651.0	651.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO		2910.0	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)		2287.0	2283.0	2277.0	2276.0	2274.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA		3786.0	3781.0	3776.0	3771.0	3766.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA		1499.0	1498.0	1499.0	1495.0	1492.0
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)		623.0	627.0	633.0	634.0	636.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) /		2.406	2.389	2.368	2.358	2.346
CONTENIDO % C.A.		4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

OBSERVACIONES :

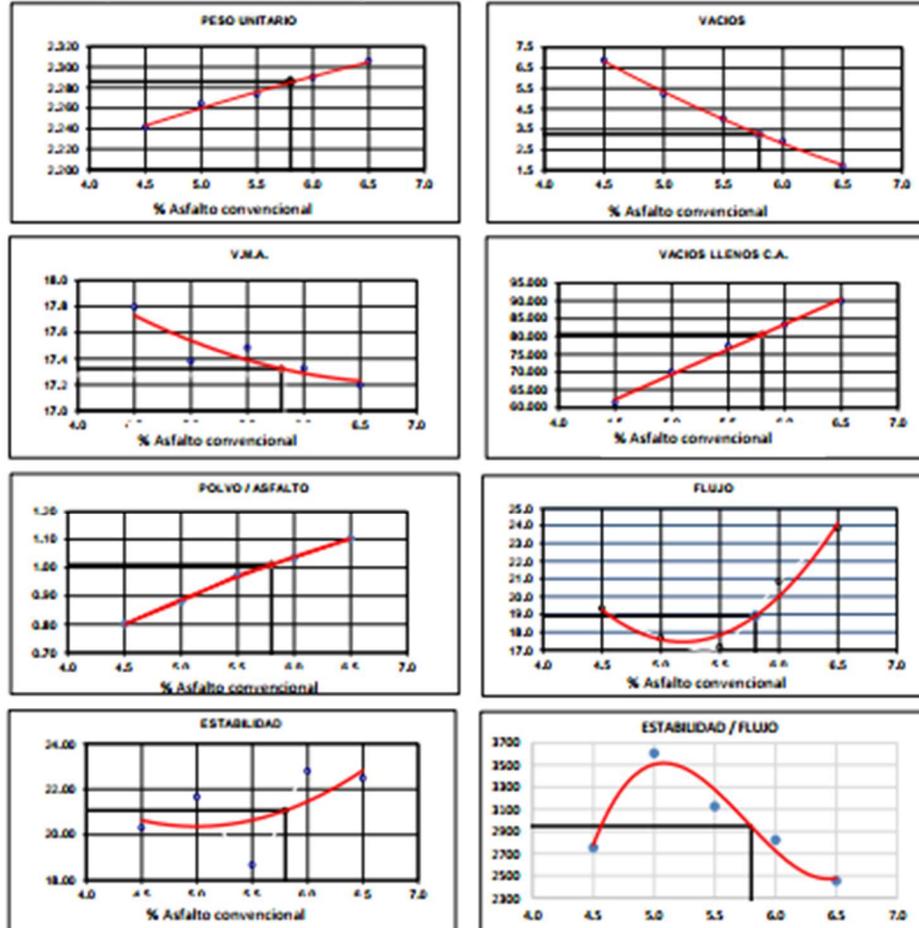
- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,


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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1606A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLASTICO RECICLADAS, APLICANDO EL METODO MARSHALL PARA TRANSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Domingo, 14 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Miércoles, 17 de agosto del 2022



CARACTERISTICAS MARSHALL PET 1.6%

GOLPES	76
% C.A.	6.80
P. UNITARIO	2.288
VACIOS	3.3
V.M.A.	17.3
V.L.L.C.A.	80.8
POLVO / ASFALTO	1.01
FLUJO	18.9
ESTABILIDAD	21.1
ESTABILIDAD/FLUJO	2848.7


WILSON OLAYA AGUILAR
 T.E.C. ENGENYOS DE MATERIALES Y SUELOS


Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Viernes, 19 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Lunes, 22 de agosto del 2022

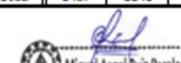
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Pet	Arena	Filler	Tamices ASTM															
					% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 10	No 40	No 50	No 80	No 100	No 200	
%	44	2	55	1	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																			
2	% Grava > N°4 en masa de la Mezcla																			
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla																			
4	% de botellas de plástico triturado (PET)																			
5	% Cemento portland en masa de la Mezcla																			
6	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc																			
7	Peso Específico de la Grava > N°4* (Bulk) gr/cc																			
8	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc																			
9	Peso específico de Confitillo (bulk)																			
10	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc																			
11	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc																			
12	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc																			
13	Altura promedio de la briqueeta (cm)																			
14	Masa de la briqueeta al aire (gr)																			
15	Masa de la briqueeta al agua por 60° (gr)																			
16	Masa de la briqueeta desplazada (gr)																			
17	Volumen de la briqueeta por desplazamiento (cc)																			
18	Peso específico Bulk de la Briqueeta																			
19	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)																			
20	% de Vacíos (ASTM D 3203)																			
21	Peso Específico Bulk Agregado Total																			
22	Peso Específico Efectivo Agregado total																			
23	Asfalto Absorbido por el Agregado																			
24	% de Asfalto Efectivo																			
25	Relación Polvo/Asfalto																			
26	V.M.A.																			
27	% Vacíos llenos con C.A.																			
28	Flujo 0,01"(0,25 mm)																			
29	Estabilidad sin corregir (Kg)																			
30	Factor de estabilidad																			
31	Estabilidad Corregida																			
32	Estabilidad / Flujo																			

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante


WILSON CLAYA AGUILAR
 TEC. EN INGENIERÍA DE MATERIALES Y SUELOS


Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

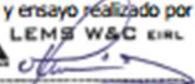
Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLASTICO REICLADAS, APLICANDO EL METODO MARSHALL PARA TRANSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Domingo, 21 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Lunes, 22 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MÁXIMA (ASTM D2041)

PET	2.0%					
	MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO		651.0	651.0	651.0	651.0	651.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO		2910.0	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)		2286.0	2282.3	2280.5	2276.8	2274.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA		3783.0	3777.3	3771.5	3765.8	3760.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA		1497.0	1495.0	1491.0	1489.0	1486.0
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)		624.0	627.7	629.5	633.2	636.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) /		2.399	2.382	2.369	2.352	2.336
CONTENIDO % C.A.		4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

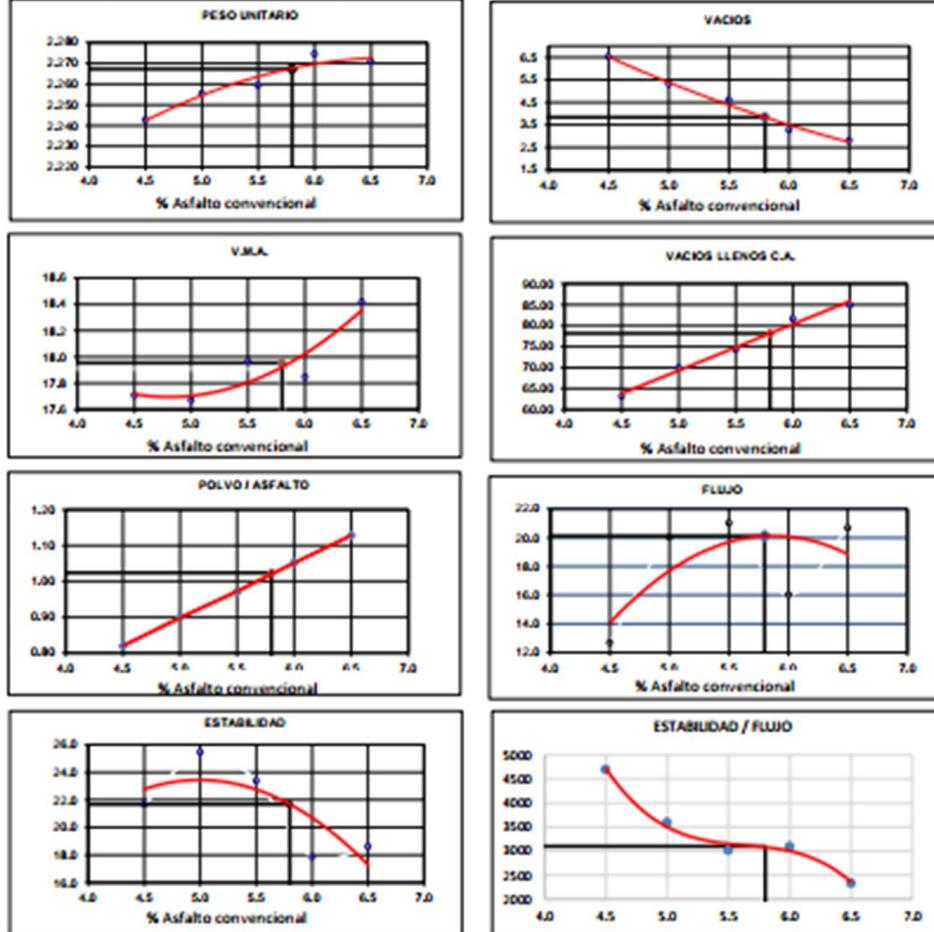
OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,


 WILSON OLAYA AGUILAR
 TEC. ENGENYOS DE MATERIALES Y SUELOS


 Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1608A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINER ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO REICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Viernes, 19 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Lunes, 22 de agosto del 2022



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

GOLPES	75
% C. A.	6.80
P. UNITARIO	2.267
VACIOS	3.8
V.M.A.	18.0
V. L.L.C.A.	78.2
POLVO / ASFALTO	1.02
FLUJO	20.1
ESTABILIDAD	21.7
ESTABILIDAD / FLUJO	3101.7



WILSON OLAYA AGUILAR
 T.E.C. ENGIENOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1506A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto / Obra : TESIS "ELABORACION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO REICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chilclayo, Prov. Chilclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Miércoles, 24 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Sábado, 27 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

AGREGADOS	Piedra	Pet	Arena	Filler	Tamices ASTM														
					% pasa Material			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 10	No 40	No 50	No 80	No 100	No 200
%	44	2.5	55	1	100	100	93.5	84.9	66.3	53.4	48	19.4	16.7	12.4	9.2	6.2			
BRQUETA N°					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					40.92			40.70			40.48		40.26		40.04			
3	% Arena < N°4 en masa de la Mezcla					51.15			50.88			50.60		50.33		50.05			
4	% de botellas de plástico triturado (PET)					2.50			2.50			2.50		2.50		2.50			
5	% Cemento Portland en masa de la Mezcla					0.93			0.93			0.92		0.92		0.91			
6	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.018			1.018			1.018		1.018		1.018			
7	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.67			2.67			2.67		2.67		2.67			
8	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.542			2.542			2.542		2.542		2.542			
9	peso especifico de Confitillo (bulk)					2.628			2.628			2.628		2.628		2.628			
10	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.15			3.15			3.15		3.15		3.15			
11	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc																		
12	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc																		
13	Altura promedio de la briqueta (cm)				6.79	6.73	6.84	6.61	6.71	6.63	6.56	6.60	6.64	6.60	6.57	6.58	6.63	6.56	6.36
14	Masa de la briqueta al aire (gr)				1200.00	1204.00	1201.00	1190.00	1200.00	1200.00	1194.00	1195.00	1197.00	1197.00	1210.00	1200.00	1210.00	1175.00	1195.00
15	Masa de la briqueta al agua por 60'(gr)				1205.40	1206.80	1205.10	1192.60	1202.60	1201.50	1197.30	1198.60	1200.60	1199.00	1212.50	1202.60	1213.80	1180.70	1196.80
16	Masa de la briqueta desplazada (gr)				666.15	664.79	661.23	660.53	660.83	666.03	666.49	666.83	666.13	666.67	680.93	670.53	681.23	658.53	672.93
17	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				539	542	544	532	542	535	531	532	534	532	532	532	533	522	524
18	Peso especifico Bulk de la Briqueta				2.225	2.221	2.208	2.237	2.215	2.241	2.249	2.247	2.240	2.249	2.276	2.255	2.272	2.250	2.281
19	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2011)					2.408			2.391			2.375		2.354		2.333			
20	% de Vacios (ASTM D 3203)				7.6	7.8	8.3	6.5	7.4	6.3	5.3	5.4	5.7	4.5	3.3	4.2	2.6	3.6	2.2
21	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.603			2.603			2.603		2.603		2.603			
22	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.574			2.574			2.574		2.569		2.564			
23	Asfalto Absorbido por el Agregado					-0.44			-0.43			-0.43		-0.51		-0.60			
24	% de Asfalto Efectivo					4.92			5.41			5.91		6.48		7.06			
25	Relación Polvo/Asfalto					0.8			0.9			1.0		1.0		1.1			
26	V.M.A.				18.3	18.5	19.0	18.4	19.2	18.2	18.3	18.4	18.7	18.8	17.8	18.5	18.4	19.2	18.1
27	% Vacios llenos con C.A.				58.6	58.0	56.2	64.7	61.5	65.5	71.2	70.9	69.6	76.2	81.5	77.5	85.7	81.4	87.6
28	Flujo 0.01"(0.25 mm)				24.5	23.0	25.0	19.0	24.0	21.0	20.0	25.0	16.0	17.0	23.0	17.0	23.0	20.0	21.0
29	Estabilidad sin corregir (Kg)				2509.5	2551.0	2206.0	2083.0	2034.5	2211.5	2072.5	2142.5	2119.6	2127.0	3182.0	1233.5	1973.0	1183.0	1418.0
30	Factor de estabilidad				0.93	0.93	0.93	0.96	0.93	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	0.96
31	Estabilidad Corregida				2334	2372	2052	2000	1892	2123	1990	2057	2035	2042	3055	1184	1894	1183	1361
32	Estabilidad / Flujo				2420	2620	2084	2673	2002	2568	2527	2090	3230	3051	3373	1769	2092	1502	1647

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,

Solicitud de Ensayo : **1506A-22/LEMS W&C**
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO RECICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de apertura : Jueves, 16 de junio del 2022
 Inicio de ensayo : Miércoles, 11 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Viernes, 12 de agosto del 2022

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)

PET	2.5%					
	MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO		651.0	651.0	651.0	651.0	651.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO		2910.0	2910.0	2910.0	2910.0	2910.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)		2288.0	2284.0	2280.0	2274.0	2268.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA		3786.0	3781.0	3776.0	3771.0	3766.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA		1498.0	1497.0	1496.0	1497.0	1498.0
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)		622.0	626.0	630.0	636.0	642.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) /		2.408	2.391	2.375	2.354	2.333
CONTENIDO % C.A.		4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

OBSERVACIONES :

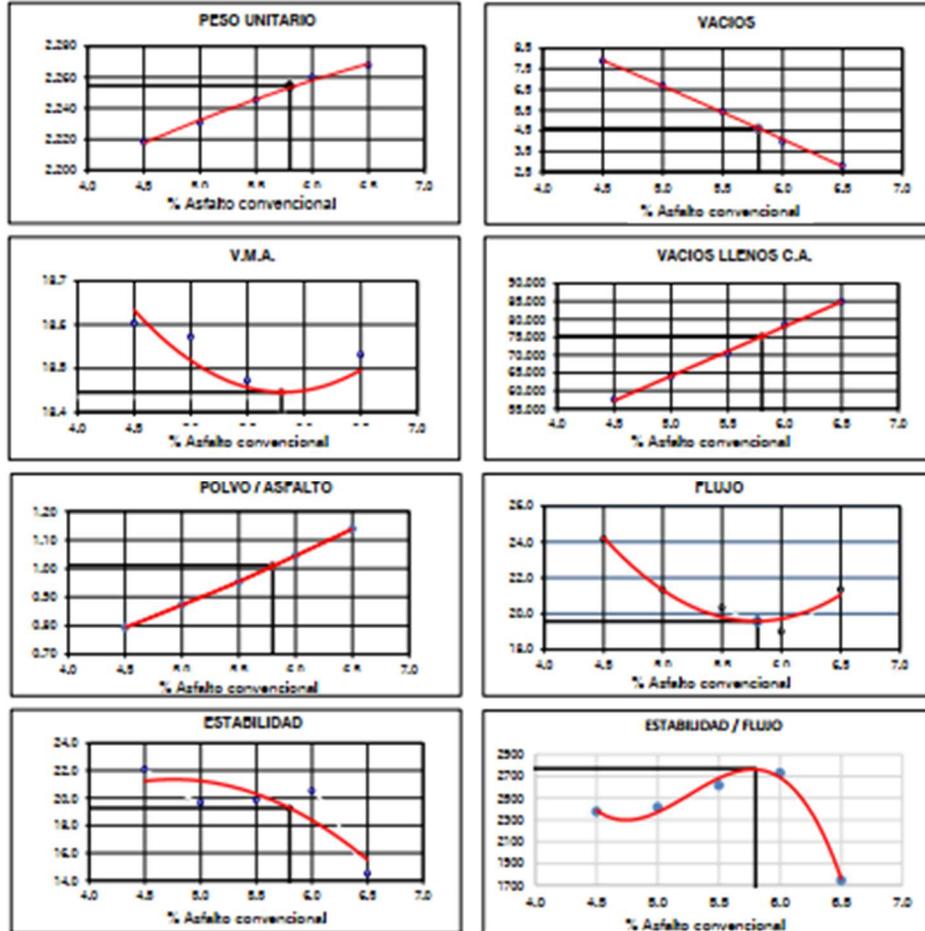
- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,


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



 Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Solicitud de Ensayo : 1608A-22/LEMS W&C
 Solicitante : ALVINES ARBAIZA, JOAN FERNANDO
 Proyecto : TESIS "ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BOTELLAS DE PLÁSTICO REICLADAS, APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL PARA TRÁNSITO PESADO".
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de recepción : Jueves, 16 de Junio del 2022
 Inicio de ensayo : Martes, 09 de agosto del 2022
 Fin de ensayo : Viernes, 12 de agosto del 2022



CARACTERÍSTICAS MARSHALL PET 2.5%

GOLPES	76
% C.A.	5.80
P. UNITARIO	2.265
VACIOS	4.8
V.M.A.	18.4
V.L.L.C.A.	76.3
POLVO / ASFALTO	1.01
FLUJO	19.8
ESTABILIDAD	19.3
ESTABILIDAD/FLUJO	2770.0



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



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

ANEXO 2: Carta de Autorización para recolección de información



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswycorl@gmail.com

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Chiclayo, 27 de abril del 2023

Quien suscribe:

Sr. Wilson Arturo Olaya Aguilar

Representante Legal – 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 "Elaboración de mezcla asfáltica modificada con botellas plásticas recicladas, aplicando el método Marshall para tránsito pesado".

Por el presente, el que suscribe, Wilson Arturo Olaya Aguilar representante legal de la empresa LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L. AUTORIZO al Bach. Joan Fernando Alvines Arbaiza identificado con DNI N°75329497 egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán y autor del trabajo de investigación denominado "Elaboración de mezcla asfáltica modificada con botellas plásticas recicladas, aplicando el método Marshall para tránsito pesado" para el uso de laboratorio técnico y formatos de procesamiento de datos y cálculo para obtención de resultados de control de calidad en 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 ARTURO OLAYA AGUILAR
GERENTE GENERAL

ANEXO 3: Evidencias de ejecución

ENSAYOS DE MATERIALES GRANULARES (FINOS Y GRUESOS) – ENSAYOS FÍSICOS DEL MATERIAL GRANULAR



Fotografía 1. Granulometría de los agregados pétreos



Fotografía 3. Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso



Fotografía 2. Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio de los agregados pétreos



Fotografía 4. Ensayo de límite de líquido y límite plástico para obtención del índice de plasticidad



Fotografía 5. Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados pétreos



Fotografía 7. Ensayo de contenido de sales del agregado fino y grueso



Fotografía 6. Ensayo de pesos específico y absorción del agregado fino



Fotografía 8. Ensayo de peso específico del PET

PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PATRÓN Y DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA



Fotografía 9. Preparación del PEN 60-70 a 140 °C



Fotografía 11. Retiro de briqueta empleando una gata, para así remover del molde de acero la muestra.



Fotografía 10. Colocación de la mezcla asfáltica al molde de acero para ser compactada a 75 golpes cada lado a 130 °C



Fotografía 12. Registro de datos de las 90 briquetas

PRUEBAS VOLUMÉTRICAS PARA OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PATRÓN Y DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA



Fotografía 13. Peso al aire de la briqueta



Fotografía 15. Peso húmedo de la briqueta luego de haber sido sumergida



Fotografía 14. Peso sumergido de la briqueta a 25°C



Fotografía 16. Briqueta sumergida a 60 °C durante 30 minutos para poder pasar la prueba de estabilidad y flujo en equipo Marshall



Fotografía 17. Control de temperatura del agua a 60°C



Fotografía 19. Peso de la mezcla asfáltica suelta para prueba de Gravedad específica teórica máxima (Rice)



Fotografía 18. Prueba de estabilidad y flujo para cada briqueta colocada en el cabeza de prueba calibrado



Fotografía 20. Retiro de contenido de vacíos en el ensayo de Rice.