



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

**“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO
TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Br. Diaz Bardalez Williams Alexander

Asesor:

Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.

Co-Asesora:

Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituari, M. Sc.

SAN JUAN BAUTISTA – LORETO – MAYNAS - PERÚ

2022

DEDICATORIA

- Este trabajo cuasi experimental, va dedicado a Dios padre todo poderoso, por permitirme lograr uno de los tantos proyectos de vida que tengo en mente.
- Por otra parte, a mis padres, por haberme brindado su apoyo y así motivarme a no decepcionarlos.
- También a todas aquellas personas que me brindaron su ayuda, conocimiento que valoro baste del cual aprendí mucho más este tema.

Dos cosas son infinitas: el universo y la estupidez humana. Y no estoy seguro sobre la primera. **Albert Einstein.**

AGRADECIMIENTO

- Al Dios padre todo poderoso, por seguir brindándome la vida, prosperidad y sabiduría, seguir dándome las fuerzas para poder sobrellevar el día a día.
- A mis padres por brindarme su ayuda económica y guiarme por el buen camino, gracias por sus reñidas y amenazas por un bien final.
- Personas que me ayudaron con su conocimiento sobre el tema, gracias.

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 08 de abril del 2022



ING. CARMEN PATRICIA CERDEÑA DEL ÁGUILA, DRA.
PRESIDENTE DE JURADO



ING. JEFREE STEFANO ARÉVALO FLORES, MG.
MIEMBRO DE JURADO



ING. JUAN JESÚS OCAÑA APONTE, M.Sc.
MIEMBRO DE JURADO



ING. ULISES OCTAVIO IRIGOIN-CABRERA, M.Sc.
ASESOR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal **Nº493-2021-UCP-FCEI** de fecha 02 de Agosto del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Águila, Dra. | Presidente |
| • Ing. Jeffrey Stefano Arévalo Flores, Mg. | Miembro |
| • Ing. Juan Jesús Ocaña Aponte, M. Sc. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Ulises Octavio Irigoien Cabrera, M.Sc.**

Como Co Asesora: **Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituri, M.Sc.**

En la ciudad de Iquitos, siendo las 10:00 horas del día 08 de abril del 2022, a través de la plataforma ZOOM supervisado en línea por el Secretario Académico del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **"EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021"**.

Presentado por el sustentante:

WILLIAMS ALEXANDER DIAZ BARDALEZ

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORIA**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



JEFFREY S. AREVALO FLORES
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 163914

Miembro



Presidente



Miembro

Contáctanos:

Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compagñon 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERÚ, 2021”

De los alumnos: **DIAZ BARDALEZ WILLIAMS ALEXANDER**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **15% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 23 de Enero del 2022.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

CJRA/ri-a
36-2022



Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5



(065) 261088



www.ucp.edu.pe

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenido.....	vii
Índice de cuadros o tablas.....	x
Índice de gráficos.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Capítulo I. Marco Teórico.....	1
1.1. Antecedentes del estudio.....	1
1.2. Bases teóricas.....	14
1.2.1. Historia del Asfalto	14
1.2.2. El asfalto, componentes y sus características generales.....	16
1.2.3. Asfaltos modificados con polímeros	29
1.2.4. Tereftalato de Polietileno - PET	56
1.3. Definición de Términos Básicos.....	63
Capítulo II. Planteamiento del Problema	68
2.1. Descripción del Problema.....	68
2.2. Formulación del Problema.....	68
2.2.1. Problema general.....	68
2.2.2. Problemas específicos	68
2.3. Objetivos.....	69
2.3.1. Objetivo general.....	69
2.3.2. Objetivos específicos	69
2.4. Justificación de la investigación.....	70
2.5. Hipótesis.....	74
2.5.1. Hipótesis general	74
2.5.2. Hipótesis específicas.....	74
2.6. Variables.....	75
2.6.1. Identificación de variables.....	75
2.6.2. Definición conceptual y operacional de las variables.....	75
2.6.3. Operacionalización de variables.....	76
Capítulo III. Metodología.....	77
3.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	77
3.1.1. Tipo de Investigación	77
3.1.2. Diseño de Investigación	78
3.2. Población y Muestra.....	78

3.2.1.	Población.....	78
3.2.2.	Muestra	79
3.3.	Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de Datos.	79
3.3.1.	Técnicas de Recolección de Datos.	79
3.3.2.	Instrumentos de Recolección de datos	80
3.3.3.	Procedimiento de recolección de datos	80
3.4.	Instrumentos de recolección de datos.....	81
3.5.	Procedimientos de recolección de datos	82
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	91
CAPITULO IV. RESULTADOS.....		92
4.1.	DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO – (MTC E-504).....	92
4.1.1.	DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS – (MAC -02). .	92
4.1.2.	ENSAYO RICE DE CADA MUESTRA CON RESPECTO AL PORCENTAJE DE PEN – (MAC -02).	93
4.1.3.	ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 5%, 5.5%, 6% Y 6.5% DE PEN 60/70.	94
4.1.4.	GRAFICOS DEL ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) CON RESPECTO A LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO.	98
4.2.	INCORPORACION DEL PET AL CONCRETO ASFALTICO.	99
4.2.1.	DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 4% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).....	99
4.2.2.	ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 4%, PET.....	100
4.2.3.	DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 5% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).....	101
4.2.4.	ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 5%, PET.....	102
4.2.5.	DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 6% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).....	103
4.2.6.	ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 6%, PET.....	104
4.2.7.	DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 7% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).....	105
4.2.8.	ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 7%, PET.....	106
4.2.9.	ENSAYO RICE (MTC E - 508) A LAS MUESTRAS CON DIFERENTES DOSIFICACIONES TEORICAS DE PET.....	107
4.2.10.	GRAFICOS DEL ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) CON RESPECTO A LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO CON PET.	108

CAPITULO V. DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXO 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA.	125
ANEXO 02. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS.....	127
ANEXO 03. DE LA REDACCION.	152

ÍNDICE DE CUADROS O TABLAS

Tabla N° 01 Especificaciones del cemento asfáltico 40/50.	40
Tabla N° 02 Especificaciones del cemento asfáltico 60/70.	42
Tabla N° 03 Estabilidad baja.	45
Tabla N° 04 Poca durabilidad.....	46
Tabla N° 05 Mezcla demaciado permeable.	47
Tabla N° 06 Mala trabajabilidad.	47
Tabla N° 07 Mala resistencia a la fatiga.	48
Tabla N° 08 Poca resistencia al deslizamiento.....	49
Tabla N° 09 Características técnicas del PET.	59
Tabla N° 10 Operacionalizacion de variables.	76
Tabla N° 11 Parámetros de agregados para mezcla asfaltica.....	81
Tabla N° 12 Breve descripción de ensayos a realizar en agregados... ..	82
Tabla N° 13 Granulometría de agregados.....	84
Tabla N° 14 Durabilidad al sulfato de magnesio.	85
Tabla N° 15 Ensayo de abrasión de los ángeles.	86
Tabla N° 16 Ensayo de porcentaje de particulas chatas y alargadas. ...	86
Tabla N° 17 Ensayo de caras fracturadas.....	86
Tabla N° 18 Ensayo de absorción.	87
Tabla N° 19 Materiales del diseño de MAC - 02.....	90
Tabla N° 20 Dosificación de agregados de acuerdo al MAC - 02.....	92
Tabla N° 21 Resultados de ensayos RICE – (MTC E - 508).....	93
Tabla N° 22 Resultados de ensayos – briquetas con el 5% de PEN.....	94
Tabla N° 23 Resultados de ensayos – briquetas con el 5.5% de PEN....	95
Tabla N° 24 Resultados de ensayos – briquetas con el 6% de PEN.....	96
Tabla N° 25 Resultados de ensayos – briquetas con el 6.5% de PEN....	97
Tabla N° 26 Gráficos de los resultados del ensayo Marshall.....	98
Tabla N° 27 Dosificación de agregados con el 4% de PET.	99
Tabla N° 28 Resultados de ensayos – briquetas con el 4% de PET.	100
Tabla N° 29 Dosificación de agregados con el 5% de PET.	101
Tabla N° 30 Resultados de ensayos – briquetas con el 5% de PET.	102
Tabla N° 31 Dosificación de agregados con el 6% de PET.	103
Tabla N° 32 Resultados de ensayos – briquetas con el 6% de PET.	104
Tabla N° 33 Dosificación de agregados con el 7% de PET.	105
Tabla N° 34 Resultados de ensayos – briquetas con el 7% de PET.. ...	106
Tabla N° 35 Resultados de ensayos RICE (MTC E - 508).....	107

Tabla N° 36 Gráficos de los resultados del ensayo Marshall.....	108
--	------------

ÍNDICE DE GRÁFICOS O FIGURAS.

Imagen N°01. Productos Bituminosos (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto) en Wulf (2008).	17
Imagen N°02. El Asfalto (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto) en Wulf (2008).....	18
Imagen N°03. Productos y Temperaturas típicas de destilación (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto) en Wulf (2008).	19
Imagen N°04. Proceso de refinación del petróleo (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto) en Wulf (2008).....	21
Imagen N°05. Curva granulométrica de gradación de agregados.....	85
Imagen N°06. Carta viscosidad vs temperatura del plástico PET.	87

RESUMEN

El presente trabajo de investigación cuasi experimental, tiene como objetivo general determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada con plástico PET en comparación a la tradicional. Esta investigación no tiene un lugar de estudio, pero se podría decir que se realizara en la ciudad de Iquitos – Loreto – Perú.

La incorporación de este material reciclado que lleva como nombre PET (Tereftalato de Polietileno), se empleara como un agregado más de granulometría fina, donde se pretende economizar el agregado grueso (Grava) ya que este material tiene un costo elevado acá en la ciudad de Iquitos, aparte de ello el objetivo es determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada.

El procedimiento para realizar el experimento, se comenzó con realizar ensayos a los materiales, las cuales dieron buenos resultados, después de eso se procedió a encontrar el porcentaje óptimo del PEN 60/70 a emplear. El resultado que se obtuvo fue que, de acuerdo al porcentaje de agregados a emplear en base a 1200 gramos (el peso de una Briqueta) y 75 golpes, se obtuvo que el porcentaje a emplear de PEN con respecto al peso es de 5.9%. Encontrado ese dato se procedió a realizar ensayos con el PET, en una progresiva de porcentajes de 4% - 5% - 6% - 7% de PET con respecto al peso de la Briqueta (1200 gr).

Realizado el ensayo Marshall, los resultados fueron satisfactorios ya que la estabilidad mínima que se obtuvo fue de 9.0202 kN que es igual a (919.8 kgf), y la estabilidad máxima de acuerdo a nuestros porcentajes fue de 11.526 kN que es igual a (1175.3 kgf).

Encontrado estos resultados, podemos ver que, si cumple con cierta parte de lo normado para pavimentos flexibles, La cual si estaría dentro del objetivo propuesto.

ABSTRACT

The general objective of this quasi-experimental research work is to determine the percentage improvement of the physical and structural characteristics of the modified asphalt mix with PET plastic in comparison to the traditional one. This research does not have a place of study, but it could be said that it will be carried out in Iquitos city - Loreto - Peru.

The incorporation of this recycled material called PET (Polyethylene Terephthalate) will be used as an aggregate of fine granulometry, where it aims to save coarse aggregate (gravel) as this material has a high cost here in Iquitos city, apart from this, the objective is to determine the percentage of improvement of the physical and structural characteristics of the modified asphalt mix.

The procedure to carry out the experiment began by testing materials, which gave good results, after that, we proceeded to find the optimum percentage of PEN 60/70 to be used. The result we got it was that, according to the percentage of aggregates to be used based on 1200 grams (the weight of a Briquette) and 75 blows, the percentage of PEN to be used with respect to the weight is 5.9%. Once this data was found, tests were carried out with PET, in a progressive percentage progression of 4% - 5% - 6% - 7% of PET with respect to the weight of the briquette (1200 gr).

After the Marshall test, the results were satisfactory since the minimum stability obtained was 9.0202 kN which is equal to (919.8 kgf), and the maximum stability according to our percentages was 11.526 kN which is equal to (1175.3 kgf).

Having found these results, we can see that, if it complies with certain part of the rules for flexible pavements, which would be within the proposed objective.

Capítulo I. Marco Teórico.

1.1. Antecedentes del estudio.

Wulf (2008), en su tesis en la Universidad Austral de Chile, realizó un estudio de dosificación de concreto asfáltico modificado con polímero en caliente, ambos con áridos para un tamaño máximo de 20 mm (3/4") para tránsito pesado. En la tesis se describen los procesos de identificación de las muestras, granulometrías, constantes físicas e hídricas, dosificación de los áridos en peso, características de la mezcla, parámetros Marshall y se confecciona la mezcla de trabajo. También se expone parte teórica correspondiente al asfalto, los polímeros, los asfaltos modificados con polímero y las capas asfálticas estructurales; asimismo, se presenta la caracterización del asfalto convencional y los modificadores (Wulf, 2008).

Wulf (2008) llegó, entre otras, a las siguientes conclusiones: Para contenidos de vacíos (V_a) bajo 4 % la mezcla es muy propensa a exudar y/o a huellarse. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores a 6 la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración. Existe acuerdo en que el rango adecuado de desempeño de una mezcla se consigue para contenidos de vacíos de 4 % a 6 %

Valores de V.A.M. muy bajos puede indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podría exudar. Valores de V.A.M. muy altos también es asociado con el ahuellamiento ya que se requiere un mayor contenido asfáltico para cumplir con las especificaciones de diseño. Todos los asfaltos estudiados cumplen con el requisito exigido por la norma, es decir, un V.A.M. mayor a 14 %.

En el asfalto modificado con polímero se alcanza una densidad mayor que en el asfalto convencional, pero aun así está muy por debajo de la densidad máxima de la mezcla (Wulf, 2008).

Vaca et al. (2020) al tratar sobre el “Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos”, anotan lo siguiente: “[...]. Teniendo en cuenta esto los investigadores ven una alternativa de mejorar las características del asfalto y mezclas asfálticas convencionales al incorporar desperdicios plásticos para analizar su comportamiento dentro de la mezcla asfáltica convencional y a la vez obtener un impacto ambiental significativo por el gran porcentaje de contaminación que estos desperdicios plásticos generan” (Vaca et al., 2020)

“La oportunidad de adecuarlas a unas condiciones específicas hoy en día es posible debido a las diferentes investigaciones sobre la optimización del asfalto apoyando así el buen comportamiento que el asfalto ofrece con las diferentes modificaciones. José Edilson Forigua Orjuela y Elkin Pedraza Diaz en su investigación sobre el estudio de mezclas asfálticas modificadas con desperdicios plásticos para la Universidad Católica de Colombia se enfocó en la comparación sobre la optimización de la mezcla asfáltica modificada con trozos de bolsas (desperdicio plástico) en diferentes porcentajes (0.1%,0.2%,0.3%,0.4% y 0.5%) y con una convencional donde su metodología consta en determinar el agregado para la mezcla, el porcentaje óptimo de asfalto y de desperdicio de plástico, para después realizar el ensayo Marshall en la que su finalidad es obtener las cantidades óptimas de la mezcla asfáltica con el objetivo de cumplir los criterios de análisis como es la estabilidad, los vacíos con aire en la mezcla y en los agregados minerales, el flujo, durabilidad del pavimento el cual garantice un contenido de asfalto óptimo que cubra, impermeabilice y ligue el material pétreo (Reyes Lizcano et al., 2007)” (Vaca et al., 2020).

“De acuerdo con lo anterior, al utilizar los parámetros obtenidos después de ejecutar el método Marshall como son estabilidad, flujo, peso unitario y módulo de rigidez utilizando la fórmula de Nijboer. Durante la realización de los parámetros de estabilidad y flujo para

obtener el porcentaje óptimo de desperdicio plástico que mejora las propiedades del asfalto, se encontró un óptimo de asfalto del 6.73%, donde a continuación se muestran los diversos parámetros Marshall que se encontraron los mayores valores” (Vaca et al., 2020). Los ensayos se realizaron para 25, 50 y 75 golpes.

Vaca et al. (2020), en su artículo concluye de la siguiente manera: “Con los resultados obtenidos anteriormente de los parámetros Marshall de estabilidad, flujo, peso unitario de la mezcla y módulo de rigidez para el porcentaje óptimo de trozos de desperdicios plásticos, se puede decir que los desperdicios plásticos mejora de manera significativa las propiedades mecánicas del asfalto en un 0.4 % del porcentaje de los trozos de desperdicios plásticos con respecto al peso de la muestra. Y tener en cuenta los porcentajes bajos entre el 0.1 % y 0.2% de desperdicio plástico debido a que el efecto que causa en las muestras compactadas a 25 y 50 golpes es perjudicial a esta ya que en vez de aumentar la estabilidad esta disminuye en un porcentaje significativamente alto de un 55% con respecto a las muestras que no contienen trozos de desperdicio plástico.

Vidal, López, Grajales (2014) en la tesis con título “Incorporación de tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto”, para obtener el título de grado en la Universidad Pontificia Javeriana Cali, Colombia, tuvo como principal objetivo determinar un porcentaje adecuado de uso de PET, agregándolo como agente modificador de las mezclas asfálticas. Se desarrolló ensayos de comportamiento mecánico para los agregados, luego determinó el punto de ablandamiento, durabilidad del asfalto, viscosidad y penetración. Concluyeron que el PET permite suponer que el reemplazo parcial de arena con 5 % de PET en las mezclas asfálticas modificadas alteran sus comportamientos considerablemente, pero a la vez mejoran en la estabilidad en un 79%.

Berrio (2017), en el trabajo de tesis “Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado como agregado constitutivo” , para optar el Título de Magíster en Ingeniería en la Universidad Nacional” Colombia, presenta como objetivo principal obtener un diseño de mezcla asfáltica semidensa tipo MSC-19, a partir de la incorporación de tereftalato de polietileno reciclado como agregado constitutivo, analizando las diferentes propiedades mecánicas y el comportamiento de la misma. La metodología con la que se desarrolló fue el método experimental ya que enfatizó en el estudio de las mezclas con incorporación de PET en base a la obtención de sus propiedades volumétricas, estabilidad y fluidez; asimismo, en determinar la prueba del módulo resiliente y las deformaciones plásticas en pista, y, así poder observar la disposición del PET triturado en los intersticios de la mezcla asfáltica. Concluyó que hay un incremento de un 37% y 42% en el módulo resiliente y en la velocidad de deformación plástica, respectivamente, propiedades analizadas para un 1% de PET incorporado en la mezcla para cuyos valores eran menores a 2,0 mm.

Huertas, Cazar (2014), en la tesis con título “Diseño de un pavimento flexible adicionando tereftalato de polietileno como material constitutivo junto con ligante AC 20” , para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador, con el objetivo de aprovechar la gran cantidad de plásticos reciclados con el fin de mejorar la mezcla asfáltica en caliente y beneficiar las propiedades de los materiales constructivos, usó el tereftalato de polietileno triturado retenido en los tamices #4 y 3/8” que arrojó un valor porcentual del 4% de vacíos en la mezcla, obteniéndose menores resultados en la estabilidad al compararlos con una briqueta tradicional con un porcentaje óptimo de asfalto de 6.5% y al 4% de vacíos; asimismo, como resultados, valores más altos en flujo, tanto para la briqueta normal como para los límites de la norma NEVI-12, concluyendo que,

la manera de agregar el tereftalato de polietileno no presenta ninguna mejora en la estructura del pavimento.

Ortiz (2017) en la tesis Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el Método de Marshall” , para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de San Carlos de Guatemala, tuvo como objetivo principal evaluar una mezcla tradicional contrastándolo con un diseño de mezcla modificada con PET, con sus especificaciones de calidad requerida para las mezclas asfálticas convencionales en caliente. Como resultado obtuvo que la resistencia de la la mezcla asfáltica tradicional, cumple los parámetros de estabilidad que tiene un valor mínimo de 1 200 lbf, y, en la mezcla asfáltica donde se agregó el PET se obtuvo valores abajo de este límite, siendo no estable.

Buitrago, Onofre, Sierra (2017) en la tesis con título “Viabilidad técnica de obtención de un diseño de mezcla asfáltica adicionada con 1.6% de fibra de PET, con porcentajes de asfalto entre el 4.5% y el 6%, que cumpla con la Normatividad del INVÍAS” , para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Cooperativa de Colombia, tuvo como objetivo principal “determinar la facilidad técnica de una mezcla incorporada de 1.6% de PET con 4.5% y 6% de asfalto de manera que satisfaga la norma de INVÍAS. Como resultado obtuvieron que la estabilidad de los diseños de mezcla con porcentaje de asfalto por encima del 4,9% presentó un buen comportamiento, según los datos obtenidos mediante el ensayo Marshall, cumpliendo con lo estipulado por la norma INVÍAS, que en referencia a la estabilidad indica que los porcentajes más óptimos de asfalto se encuentran en el rango de 4,9% a 5,7%.

Carrizales (2015), en la tesis “Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles” para optar el título de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno-

Perú, cuyo objetivo estuvo orientado en desarrollar mejoras en el diseño de mezcla asfáltica, modificada con la aplicación de caucho obtenido del reciclaje de llantas. Los resultados obtenidos presentaron valores mínimos que no satisfacen los datos establecidos por la normativa peruana actual. Se obtuvo como resultado que la adición de caucho reciclado no contribuyó con mejoras relevantes en la nueva mezcla diseñada.

Silvestre (2017), en la tesis “Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima - 2017” , buscó como objetivo principal, determinar cuánto puede mejorar la mezcla asfáltica modificada por la vía seca con plástico reciclado utilizado como un agregado más reemplazando porcentajes del agregado fino, en comparación con la tradicional. Realizó el ensayo Marshall de la mezcla tradicional con 15 muestras de briquetas, y tres ensayos Marshall de la mezcla asfáltica modificada con plástico, con 45 briquetas como muestra con diferentes porcentajes de plástico (PET) reciclado triturado pasante a la malla #16 con un 0.5%, 1% y 1.5% del agregado fino, llegó a verificar que el contenido óptimo de PET con el cual la mezcla asfáltica mejora las características físicas y estructurales es 1%.

Como resultados comprobó en la mezcla modificada, una mejora de sus propiedades tanto físicas como mecánicas, así una disminución en la densidad de 1.7%, reducción del 2.5% en el porcentaje de vacíos; y, una mejora de la resistencia a la deformación en un 3.11%. Asimismo, concluyó que la relación entre las deformaciones y la capacidad para soportar cargas en esta mezcla modificada se incrementó en un 4.49 % frente a la mezcla tradicional. Asimismo, observa un incremento del 25% de vida útil en la carpeta asfáltica y una disminución en el costo de 2.63% al elaborar el asfalto modificado.

Ballena (2016), en su trabajo de tesis “Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío” . El objetivo del estudio fue realizar un análisis sobre el efecto que causan las fibras de polietileno, al ser agregadas dentro del diseño de una mezcla asfáltica en frío, con relación a las propiedades físico-mecánicas del asfalto y comprobar si cumplen con las normas establecidas respecto a estabilidad y flujo dentro del diseño de un pavimento flexible. La metodología de investigación para el desarrollo da cuenta que, se realizaron 126 briquetas, donde inicialmente se añadieron PET de 3 distintos tamaños máximos, en porcentajes de 1, 2, 3, 5, 7 y 10 aplicadas, respectivamente, y finalmente compactarse y emplearse en los 3 tipos de tránsito investigados. De los cuales solo el de un porcentaje de un 5.00 % utilizado de PET obtuvo buenos resultados para el tipo de tránsito pesado.

Navarro (2017), en su trabajo de tesis para optar el título de ingeniero civil “Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET”, tuvo como objetivo principal analizar la estabilidad y fluidez de los pavimentos flexibles a partir de un diseño de mezcla en caliente modificada con PET. Utilizó 35 % de piedra, 65 % de arena, asfalto PEN 60/70 en dosificaciones 4.5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% y 6,5%, aditivo Quimibom en 1% como mezcla patrón y las mezclas experimentales con semejante dosificación, pero con adiciones de 0,3% a 0,5% de PET. “...calentando a 80 °C en un tiempo de 2 minutos el PET, se solidifica mostrando un color marrón oscuro y semi-gelatinoso, no obstante que sus características químicas refieren que su punto de fusión es de 260 °C, el cual no permitirá diluirlo y fusionarlo de manera independiente con el PEN. (Navarro, 2017). El ensayo Marshall se tomó de 50 golpes, ensayo correspondiente a tráfico liviano, (las briquetas se desintegraron a aplicar los 110 golpes, por lo cual se estableció como un fallido experimento), obteniendo un Factor de Estabilidad de 10.25 KN (Especificación la Estabilidad mínima es 5.34

KN) y un Flujo de 540 Kg (Especificación Flujo 544 Kg). Arribó a las siguientes conclusiones: La adición de partículas de plástico reciclable (PET), para el diseño de mezclas asfálticas influye positivamente para un determinado flujo vehicular de un tránsito liviano” (taxis, moto taxis), pasajes, calles secundarias, entre otros (Navarro, 2017). La mezcla con PET aumenta su volumen, pero reduce su estabilidad y flujo, para un determinado uso (Navarro, 2017).

Dávalos (2015) en la tesis “Obtención de mezclas asfálticas mediante la adición de material reciclado: Poliestireno expandido” con el motivo de optar el título profesional de Ingeniero de Materiales de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa-Perú. Su objetivo principal: Incrementar las propiedades mecánicas mediante la incorporación de poliestireno expandido en perlas aplicadas al diseño de mezclas. Como resultado se obtuvo una variación de un 60% a favor de sus propiedades ya mencionadas mediante la incorporación de poliestireno expandido de perlas reciclado.

Figuerola Infante, A., Reyes Lizcano, F., Hernández Barrera, D., Jiménez, C., & Bohórquez, N. (2007), en su investigación “Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente” artículo publicado en la revista “Ingeniería E Investigación, 27(3), 5-15”, se trabajó con un asfalto blando, penetración 80-100, producido en la planta de Ecopetrol en Barrancabermeja, Colombia. Se emplearon dos modificadores: icopor y llanta triturada, como producto de los residuos industriales. La modificación se realizó por vía húmeda para lograr una mejor integración de la mezcla. En este estudio se caracterizó el asfalto convencional y los modificadores, posteriormente se analizaron las propiedades físicas del asfalto modificado y finalmente se compararon los resultados del asfalto convencional con el modificado (Figuerola, et. al., 2007).

Figuroa Infante Ana Sofía, Sánchez Castillo, Arnulfo y Reyes Lizcano Fredy Alberto (2007). Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. *Épsilon Revista de las Facultades de Ingeniería. Universidad de La Salle*. *Épsilon*, julio - diciembre, número 009. Universidad de La Salle icivil@lasalle.edu.co. Universidad de La Salle Bogotá, Colombia pp. 41-55. ISSN (Versión impresa): 1692-1259. Colombia. 2007. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Redalyc. Universidad Autónoma del Estado de México <http://redalyc.uaemex.mx> . La modificación del asfalto se realizó a 135°C y 170°C, obteniendo la temperatura óptima de modificación a 170°C y a 3000 rpm. En el diseño de la modificación aplicó el 1% de poliestireno como porcentaje óptimo, en base a investigaciones anteriores, Figuroa y Reyes (2005) en (Figuroa, Sánchez y Reyes, 2007). Como resultados se determinó la proporción óptima de los modificadores empleados para mejorar la respuesta mecánica del asfalto en la mezcla y realizar el análisis químico en una segunda fase de la investigación (Figuroa, Sánchez y Reyes, 2007)

Monturiol (2019), en su trabajo de tesis en Costa Rica, efectuó una evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con plástico PET. Para ello revisó casos de uso de materiales de desecho en mezclas asfálticas a nivel mundial donde ya se ha demostrado que su implementación altera las propiedades viscoelásticas del asfalto y de desempeño de la mezcla. Llevó a cabo la modificación de dos mezclas asfálticas; una por el llamado método húmedo el cual consiste en añadir el plástico molido al asfalto donde se disuelve por un tiempo determinado hasta homogenizar la mezcla, la cual posteriormente se añade al agregado y el método seco según el cual se cambia parte del agregado fino por plástico, tomando en cuenta la granulometría y la diferencia de densidades.

Este investigador llegó a concluir en tres secciones: El plástico como modificante, la modificación del asfalto y los especímenes de mezcla

asfáltica modificada y su comparación con una mezcla con asfalto sin modificar.

El uso del plástico para la modificación del asfalto conlleva a un análisis profundo de sus propiedades, así mismo, como el objetivo es mejorar o mantener las características de desempeño de la mezcla asfáltica original, también se tiene que analizar las propiedades de la mezcla resultante. Para ello, al realizar las pruebas de caracterización del plástico utilizado se debe de tomar en cuenta que, en caso de utilizar el PET para modificar una mezcla asfáltica, se van a intentar abaratar los costos lo más posible por lo cual no se va a contar un proceso de esterilizado o lavado profundo por lo cual se van a tener partículas de otras sustancias dentro de la mezcla lo cual va a alterar en proporciones pequeñas las propiedades de la misma. En cuanto a las pruebas realizadas, se obtuvo una temperatura de recristalización de 160 °C la cual junto con estudios pasados donde el asfalto modificado utiliza una temperatura de mezclado y compactación mayor a la usual, se decidió utilizar una temperatura de modificación de 180-185 °C para la modificación por el método húmedo, lo cual generaría un aumento en temperatura respecto a la temperatura de mezclado. Sin embargo, se esperaba que el plástico no se derritiera ya que este tiene una temperatura de fusión mayor a los 200°C la cual no justificaría el uso del PET para modificar asfalto ya que su costo sería demasiado elevado.

El uso de plástico PET en mezclas asfálticas debe de contemplar que se contaría con una variedad de productos hechos de este material con diferencias no sólo en cuanto a su contenido, sino también a su proceso de fabricación, reciclado y lavado por lo cual a la hora de hacer una modificación a gran escala estos factores pueden alterar el desempeño esperado del asfalto.

En cuanto a la modificación del asfalto mediante el método húmedo, en las tres modificaciones de asfalto realizadas no se produjo una pérdida en su clasificación por grado de desempeño a la hora de envejecer el asfalto lo cual concluye que éste mantiene sus propiedades al ser sometido a temperaturas y presiones elevadas. Sin embargo, si se notó una disminución en la clasificación según el ensayo MSCR para el asfalto modificado con 5% de PET lo cual, junto con problemas de dispersión y de incorporación al asfalto se decidió dejar por fuera esta dosis como posible porcentaje de modificación. En cuanto a los otros dos se tuvo una clasificación MSCR de VH, es decir, de vehículos pesados lo cual junto con el resto de pruebas realizadas confirman que el asfalto modificado con plástico PET tiende a rigidizar la mezcla asfáltica disminuyendo así su porcentaje de deformación como se vio en la prueba de LAS.

En este método de modificación se decidió usar un 2,5% de PET ya que parte de las metas del proyecto era poder utilizar la mayor cantidad de plástico en la modificación, sin embargo, es importante tener en cuenta la forma y tamaño del agente modificante ya que al modificar el asfalto con el plástico triturado en partículas menores a 1 cm² de área se sedimentó todo el material dejando el asfalto sin modificar en la parte superior de la mezcla. Es por ello que se decidió moler el plástico para así reducir aún más su área y homogenizar la mezcla asfáltica lo más posible. Sin embargo, esto también a gran escala conllevaría un paso extra en el proceso de fabricación de mezcla asfáltica lo cual aumentaría los costos de producción tanto por el proceso de molienda del plástico como por el mezclado ya que éste tomó un tiempo aproximado de dos horas y media y aun así no se logró mantener la mezcla homogenizada si ésta no se mantiene en movimiento.

En cuanto a la modificación mediante el método seco se reducen los costos de producción respecto al método húmedo ya que éste no requiere de tiempo de mezclado y se realiza a una temperatura menor,

además, no se requiere mantener la mezcla en movimiento ya que se modifica la granulometría utilizada, lo cual no implica un costo adicional en comparación con el proceso de modificación de asfalto mediante el método húmedo. Además, para el método seco se debe tener en consideración realizar la modificación por volumen a la hora de calcular los baches de mezcla. Esto dado que la diferencia en densidades del agregado con respecto al PET hace que se necesite un mayor volumen de plástico para sustituir una determinada cantidad de agregado.

En cuanto a las mezclas asfálticas se concluyó que el agregado utilizado es un factor que influyó considerablemente en los resultados ya que este, tanto para las mezclas modificadas como para la de control, presenta gran susceptibilidad al daño por humedad lo cual se podría haber evitado utilizando otro agregado.

Aun así, las pruebas realizadas determinaron que el asfalto modificado mediante el método seco requiere de un mayor porcentaje de asfalto en comparación con las demás mezclas, lo cual conllevaría un aumento en los costos de producción incrementado además por la cantidad de pasadas del equipo compactador ya que, como se mencionó en el análisis, los especímenes realizados para este método requieren de una mayor cantidad de ciclos de carga y un mayor tiempo de reposo previo a ser manipulados.

Además, se concluye que el asfalto modificado mediante el método húmedo no tiene por qué ser mezclado a una temperatura de 185°C ya que las partículas de plástico no se incorporan a la mezcla por lo cual se podría estudiar el uso de una menor temperatura para así determinar si se obtiene o no el mismo resultado.

En cuanto a los ensayos realizados a la mezcla asfáltica se destaca como el método seco presenta un menor daño por humedad respecto al método húmedo en la prueba de resistencia referida a la tensión

diametral a pesar de tener la menor resistencia de las tres mezclas. Esto se puede deber al efecto del plástico en sustitución del agregado fino el cual no sufre daño al ser saturado, pero disminuye la capacidad de resistencia de carga por ser un material de menor densidad y resistencia que el agregado utilizado.

En el ensayo de Módulo Dinámico se observa como el método húmedo es el que presenta una disminución en su calidad respecto a las otras dos mezclas ya que para temperaturas elevadas y/o frecuencias bajas de carga disminuye el valor de su módulo considerablemente lo cual le resta beneficios en cuanto a su desempeño.

En términos generales, tanto en los ensayos de Módulo Dinámico como Flow Number y fatiga en cuatro puntos, el método seco presentó mejores resultados en comparación con el método húmedo y el asfalto control, resultando en una mezcla asfáltica más rígida, capaz de resistir un mayor número de ciclos de carga, pero una vez deformado la cantidad de ciclos necesarios para alcanzar el 50% de su rigidez inicial disminuye considerablemente.

Espinoza Japa Semilí Luis (2019), en su trabajo de investigación de tesis para optar el título de ingeniero civil, “Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco-2018”, partió de la premisa que los asfaltos son materiales bituminosos obtenidos del residuo de las refinerías de petróleo y los plásticos PET en su composición contiene más del 50% de petróleo. Para verificar los parámetros físicos y estructurales, realizó un diseño de mezcla en caliente con cemento asfáltico y un diseño de mezcla en caliente con plástico reciclado PET fundido, siguiendo el procedimiento del ensayo Marshall (MTC E 504). Los cuales fueron ensayadas a pruebas de Estabilidad y Fluencia, con los requisitos que establece la norma para responder a las solicitaciones de carga y tráfico para un tipo de tránsito

bajo con 35 golpes de ensayo Marshall. En la parte práctica se realizaron 15 briquetas con cemento asfáltico tradicional PEN 60/70 y 45 briquetas con diferentes porcentajes 18% = 4*4,5, 20%=4*5, 22%=4*5.5, 24%=4*6 y 26%=4*6.5, de plástico (PET) con relación al peso total por briketa. Utilizó agregado grueso y fino de piedra chancada de la Cantera Figueroa-Yanag, que se encuentra a 20 minutos de la ciudad de Huánuco, el cual cumple con las propiedades físicas y mecánicas para el diseño de pavimentos asfálticos, para los ensayos de los agregados usó el manual de Ensayo de Materiales RD N° 18-2016 MTC/14 (Espinoza, 2019).

Concluyó que, el material propuesto con plástico PET reciclado fundido, tiene un comportamiento diferente al asfalto tradicional, ya que las briquetas no permiten realizar el ensayo RICE ASTM D2041 (gravidad teórica máxima), por sus características rígidas, dicho ensayo es importante para calcular el Volumen de Vacíos (Vv), y seguir con el Ensayo Marshall para calcular el contenido óptimo de material ligante; es decir, resultó ser un material no flexible, característica propia de un concreto hidráulico y no de los pavimentos elaborados con material asfáltico, por ende no puede analizarse con los parámetros establecidos por las normas para mezclas Asfálticas (Espinoza, 2019).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Historia del Asfalto

Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado (Wulf, 2008). La palabra asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C., en esta zona se encuentra en efecto la palabra “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó a latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt) (Wulf, 2008).

“En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C., excavaciones efectuadas en Tell Asmer, a 80 km. al noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción; dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Los egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende, aproximadamente hasta el año 300 A.C. Los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época” (Wulf, 2008)

El betún natural fue descubierto por Cristóbal Colón a mediados del siglo XVI, en la isla de Trinidad, donde un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este lago de betún y tomó posesión de éste para la Corona Británica. Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis descubrió el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle de Ródano; a partir de estos yacimientos se elaboró el “mastic de asfalto”, aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Sin embargo, el primer antecedente en el cual se usó un tipo de asfalto fue en Francia en 1802. En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera Paris – Perpiñán utilizó el asfalto Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers), y en 1870 en Estados Unidos con un ligante similar. Desde esta época, el uso vial del “asfalto” se implantó sólidamente en las vías urbanas. La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900, aparece la primera mezcla en caliente, utilizada en la “Rue Du Louvre” y en la “Avenue Victoria” en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la isla de Trinidad. A partir del año 1902, en los Estados

Unidos se inició el empleo de asfaltos destilados de petróleo que, por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento. (Wulf, 2008).

1.2.2. El asfalto, componentes y sus características generales.

1.2.2.1. Asfalto.

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto (Wulf, 2008). El asfalto es un material bituminoso (figura 1.1.) de color negro o café oscuro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites (figura 1.2.), elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Una de las características físicas que lo diferencian de otros compuestos, es la viscoelasticidad, lo que significa que el material tiene las propiedades elásticas de los sólidos y el comportamiento viscoso de un líquido (Huang, 2004). Un material elástico es el que tiene propiedades que le permiten recuperar su forma inicial, cuando es deformado, mientras que el material viscoso tiene la particularidad de que fluye y su deformación depende del tiempo.

Éstos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales (Wulf, 2008).

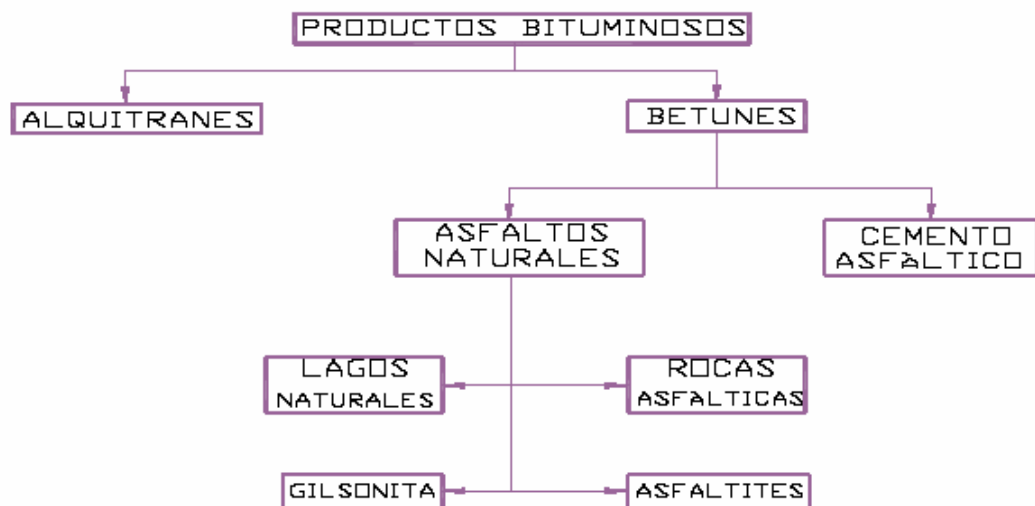


Imagen. 01. Productos Bituminosos (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto) en Wulf (2008).

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a los lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza. (Wulf, 2008).

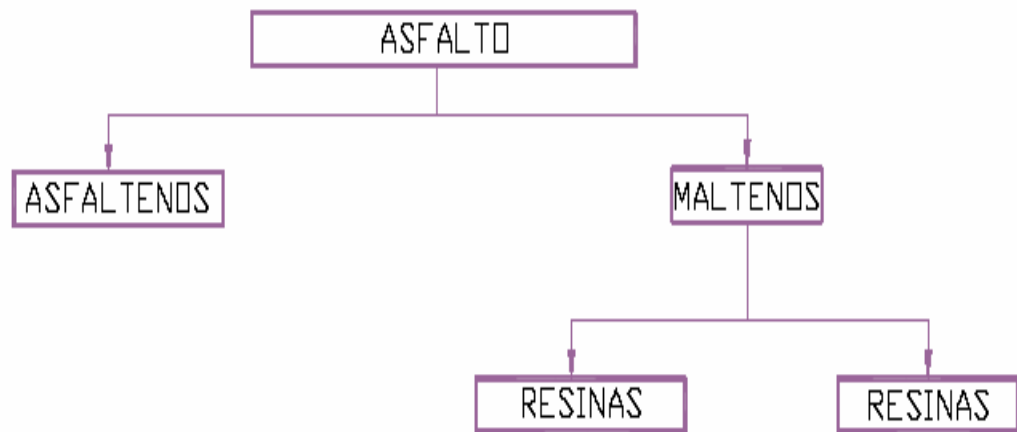


Imagen. 02. El Asfalto (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto) en Wulf (2008).

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados del petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90% de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces en su totalidad, sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.
- Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para la construcción vial, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad, esto no sucede con los crudos asfálticos, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación (figura 1.3), en el cual se separan las fracciones livianas

como la nafta y keroseno de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior. El asfalto es, además, un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono. El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto, también es un material bituminoso, pero no debe confundirse con el asfalto, sus propiedades difieren considerablemente (Wulf, 2008).

El asfalto de petróleo hoy, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

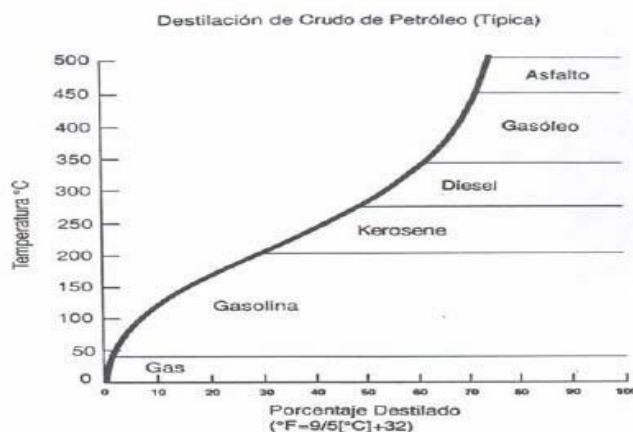


Imagen. 03. Productos y Temperaturas típicas de destilación (Instituto del Asfalto. Manual del asfalto).

1.2.2.2. Obtención del Asfalto en refinerías

Los asfaltos más usados en Perú son los que provienen de la destilación del petróleo. Según el origen del petróleo, la composición de la base se divide en: base asfáltica, base Intermedia y base Parafínica.

Los asfaltos para la construcción de pavimentos de carreteras, aeropuertos, calles y pistas urbanas provienen de los dos primeros tipos.

Para obtener asfalto a partir del crudo de petróleo, éste debe separarse en sus distintas fracciones por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo. El refinado por destilación del petróleo crudo es un procedimiento en el cual las diversas porciones (artículos) se aíslan de los no refinados, mediante métodos para una expansión en etapas de temperatura. Hay dos formas de refinación con las que se puede crear a raíz de haber unido petróleo sin refinar:

a) Destilación Primaria.

Es la operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375° C. Los componentes livianos (nafta, kerosén, gas oil), hierven hasta esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionada. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería. (Wulf, 2008)

b) Destilación al Vacío.

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionada, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, es un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la Columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos. (Wulf, 2008)

Desasfaltización con Propano o Butano: El residuo del vacío obtenido, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfáltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina “Desasfaltización” y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 ° C). El gas licuado extrae el aceite y que da un residuo semisólido llamado “bitumen”.

En la figura 1.4 se muestra en forma esquemática el proceso de refinación del petróleo:

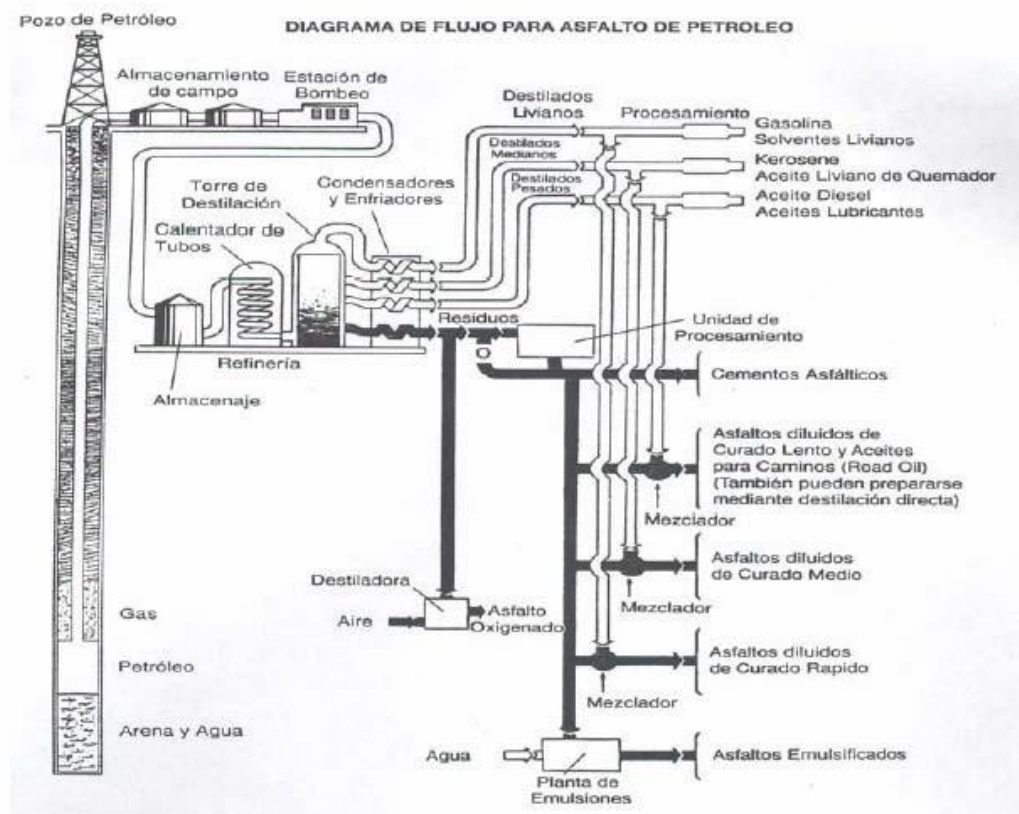


Imagen. 04. Proceso de refinación del petróleo (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto).

1.2.2.3. Composición del asfalto

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre fase continua y dispersa. Las primeras experiencias para descubrir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos. (Wulf, 2008)

Según Simpson en Silvestre (2017), los asfaltos generalmente consisten de:

- 70-80% de carbono
- 7-12% de hidrogeno.
- 0-1% de nitrógeno
- 1-7% de azufre
- 0-5% de oxigeno
- Una pequeña parte de metales de óxidos o sales dispersos o compuestos orgánicos que contienen metales.

(Pfeiffer, 2002, párrafo 2) en Silvestre (2017) da la composición y clasificación del asfalto en:

- grupos alifáticos saturados o parafinas.
- grupos nafténicos o ciclo parafinas.
- grupos conteniendo anillos aromáticos

En el campo de la ingeniería civil se conoce como la composición de los asfaltos a:

- 0.8 < de asfáltenos.
- 0.6 < de resinas.
- 0.6 < de aceites.

En donde las resinas y aceites en conjunto se denominan máltenos. Los materiales de menor peso molecular contienen una cantidad considerable de carbonos en hidrógeno en forma de compuestos

orgánicos del tipo de cadenas o alifática. Los compuestos de muy alto peso molecular consisten principalmente de materiales del tipo de anillos con muy pocas cadenas o alifáticos presentes.

Debemos enfatizar que los asfáltenos, las resinas y los aceites no son tres (3) compuestos diferentes, sino que más bien hay un rango de pesos moleculares en cada una de esas tres (3) funciones.

Sin embargo, otros autores señalan de la existencia de varias clasificaciones para los grupos de constituyentes que componen el asfalto. Una de las más usadas es la que separa el asfalto en:

Asfáltenos: Son compuestos de alto peso molecular, principalmente de naturaleza aromática con pocas ramificaciones, se encuentran en sus cadenas de cantidad apreciables elementos como oxígeno, azufre y nitrógeno. Los asfáltenos le dan la característica de dureza al asfalto y se encuentran disueltos en los máltenos.

Máltenos: resinas y aceites

a) Resinas: Son moléculas de menor peso molecular, que tienen un mayor número de ramificaciones en las cadenas. También se observa la presencia de azufre y nitrógeno en sus cadenas, pero en menor frecuencia.

b) Aceites: Moléculas de peso molecular mucho menor, sus cadenas son menos ramificadas y con pocos anillos.

Podemos decir que los máltenos están ligados con las propiedades elásticas de los asfaltos.

Observamos que al pasar de los asfáltenos a los aceites, existe una disminución gradual de componentes aromáticos y un aumento en el

carácter parafínico. En forma general, la presencia de parafina influye en las propiedades reológicas del asfalto.

La estructura cristalina de la parafina sólida ocasiona un endurecimiento mayor en el asfalto; a temperaturas más elevadas la parafina se licua, lo que ocasiona una variación sensible en las viscosidades del asfalto.

La parafina disminuye la adhesividad de los asfaltos en los agregados y una elevada cantidad de ella, puede provocar un envejecimiento prematuro del ligante, influyendo sobre la duración y tiempo de vida útil del pavimento. (Wulf, 2008).

1.2.2.4. Características generales del asfalto

A continuación, enlistamos algunas de sus características generales:

- Consistencia: Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.
- Durabilidad: Capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.
- Susceptibilidad Térmica: Variación de sus propiedades con la temperatura.
- Pureza: Definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.
- Seguridad: Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación (Wulf, 2008).

1.2.2.5. Tipos de asfaltos

La mayor parte de los asfaltos producidos son utilizados en trabajos de pavimentación, destinándose una producción menor para aplicaciones industriales, como impermeabilizante, aislantes, etc.

De acuerdo a su aplicación, los asfaltos podemos clasificarlos en dos grupos:

Asfaltos para pavimento.

a.1) Cemento Asfáltico. a.2) Asfaltos cortados. a.3) Emulsiones asfálticas.

Asfaltos Industriales.

b.1) asfaltos oxidados.

a.1) Cemento Asfáltico (CA): Conocido como asfalto, es un material de color negro y apariencia brillante, cuya resistencia, solidez, firmeza, coherencia puede variar con la temperatura. Los cementos asfálticos son preparados especialmente para el uso en la construcción de pavimentos flexibles, pues aparte de sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis. Se puede clasificar de acuerdo a la Teoría Miscelar de Asfaltos, por su contenido de Asfaltenos y Maltenos (Polar aromáticos, Nafteno aromáticos, Resinas y Parafinas).

a.2) Asfaltos cortados: los asfaltos cortados, también conocidos como asfaltos diluidos o cut-baks, resultan de la ductilidad del cemento asfáltico con destilados del petróleo.

Los diluyentes utilizados funcionan como vehículos, resultando productos menos viscosos que pueden ser aplicados con temperaturas más bajas.

De acuerdo con el tiempo de curado determinado por la naturaleza del diluyente utilizado, los asfaltos cortados se clasifican en:

1) RC – Asfaltos cortados de curado rápido. 2) MC – asfaltos cortados de curado medio. 3) SC – asfaltos cortados de curado lento. Sigla normalmente seguida de un número que indica su grado de viscosidad.

a.3) Emulsiones asfálticas: son dispersiones de cemento asfáltico en fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y de viscosidad de las emulsiones dependen, entre otros factores, de la cantidad y calidad de los agentes emulsificantes.

La cantidad de emulsificantes y aditivos químicos utilizados varía generalmente de 0.2% a 5% y la cantidad de asfalto es del orden del 95%.

El color de las emulsiones asfálticas antes del quiebre es marrón y después del quiebre negro, constituyendo esta característica un elemento auxiliar para la inspección visual y constatación rápida de la buena condición del producto. Las partículas de asfalto dispersas en la emulsión son visibles al microscopio variando de su tamaño de 0.1 a 10 micrones.

Las emulsiones asfálticas se clasifican según el tipo de carga de la partícula y tiempo de quiebre. En cuanto a la carga de partícula, pueden ser: - Cationicas. - Aniónicas. Y en cuanto al tipo de quiebre: - Quiebre rápido. - Quiebre medio. - Quiebre lento.

b.1) asfaltos oxidados: los asfaltos oxidados o soplados, son asfaltos calentados y sometidos a la acción de una corriente de aire con el objeto de modificar sus características normales, a fin de adaptarlos para aplicaciones especiales.

Los asfaltos oxidados son utilizados generalmente para fines industriales como impermeabilizantes, película protectora, etc. El proceso de oxidación produce en el asfalto las siguientes modificaciones físicas principales:

- Aumento de peso específico y consistencia.
- Disminución de ductilidad.

- Disminución de susceptibilidad térmica.

En cuanto a la composición química elemental del asfalto, los procesos de oxidación producen aumento en contenido de carbono y una correspondiente disminución de hidrógeno (Wulf, 2008).

1.2.2.6. *Función del asfalto en los pavimentos*

Entre muchas otras, dos son las funciones más importantes que desempeña el asfalto en un pavimento: función aglomerante y función impermeabilizante. Como aglomerante proporciona una íntima ligazón entre los agregados, capaz de resistir la acción mecánica producidas por las cargas de los vehículos. Como impermeabilizante garantiza al pavimento una acción eficaz contra la penetración del agua proveniente, tanto de las precipitaciones como del subsuelo por acción capilar.

Ningún otro material garantiza mejor que el asfalto una ejecución económica y simultánea de estas funciones, al mismo tiempo que proporciona al pavimento características de flexibilidad que permite su acomodo sin fisuramiento, ante las eventuales consolidaciones de las capas subyacentes. Naturalmente, para que el asfalto desempeñe satisfactoriamente estas funciones que le son inherentes, es necesario que sea de buena calidad y por, sobre todo que en la ejecución del pavimento se respeten todas las especificaciones establecidas en el diseño. Así, por ejemplo, existen las siguientes restricciones:

Restricciones al Empleo.

- No deben ser calentados sobre 160 °C. siendo la temperatura ideal obtenida por la relación temperatura - viscosidad
- No se debe aplicar con tiempo amenazante de lluvia, temperatura ambiente inferior a 10 °C. y en superficies húmedas.
- Debe evitarse el recalentamiento del producto y calentamientos locales. (Wulf, 2008).

1.2.2.7. Transporte y Almacenamiento.

El transporte de cemento asfáltico puede efectuarse en cilindros (bidones) o a granel. En el caso de cilindros su entrega está limitada a obras de pequeña envergadura.

El transporte a granel puede efectuarse en camiones cisterna o en vagones ferroviarios; el más común es en camiones.

Tanto el transporte como el almacenamiento a granel, requieren calentamiento, existiendo los siguientes procedimientos: a) Serpientes calentados con vapor de agua. b) Serpientes calentados por circulación de aceite. c) Serpientes calentados por gases de combustión.

El calentamiento nunca debe efectuarse a través de llama directa, sino a través de serpentines al interior de los estanques. En la operación de carga y descarga de asfalto a granel, es necesario verificar si los estanques están suficientemente limpios, a fin de eliminar cualquier grado de contaminación. (Wulf, 2008). El calentamiento a temperaturas elevadas por un tiempo prolongado, altera sensiblemente la constitución del asfalto, modificando sus propiedades. Se recomienda mantener los estanques de almacenamiento a temperaturas no superiores a 160 °C.

1.2.2.8. Producción y comercialización de asfaltos Perú

En Perú se producen asfaltos en la refinería de Talara, Conchán (Petroperú) y en la Refinería de La Pampilla (privatizada). De estas refinerías la que tiene mayor variedad en la producción de asfaltos es la refinería Conchán, produciendo asfaltos para pavimentación y asfaltos de uso industrial. Los asfaltos que produce Petroperú, se hacen en base a especificaciones técnicas vigentes que permanentemente son actualizadas y bajo estrictos controles de

calidad su producción cumple con los requerimientos de entidades mundiales como:

- Asociación Americana de Carreteras Estatales y transportes Oficiales
- Norma AASHTO M20/ M81 Y AASHTO MP1 (SUPERPAVE).
- Sociedad Americana para Ensayos y Materiales - ASTM
- Normas ASTM D946/D2028.
- Instituto del Asfalto USA
- Instituto Francés de Petróleo

PetroPerú, produce y comercializa los siguientes grados de cementos asfálticos para pavimentación:

- PETROPERÚ CEMENTO ASFÁLTICO 40/50 PEN
- PETROPERÚ CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 PEN
- PETROPERÚ CEMENTO ASFÁLTICO 85/100 PEN
- PETROPERÚ CEMENTO ASFÁLTICO 120/150 PEN

1.2.3. Asfaltos modificados con polímeros

Los asfaltos modificados se utilizaron primero en las emulsiones para impermeabilizantes y después se empezaron a utilizar en la pavimentación; en riegos como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente se empezó a modificar el cemento asfáltico para utilizarse cuando se requería un asfalto de mejor calidad o mayor resistencia que la que ofrecía un cemento asfáltico normal. (Wulf, 2008).

1.2.3.1. Definición de polímero

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma

de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

Homopolímeros: que tienen una sola unidad estructural (monómero).

Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).

Elastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la solicitud. Tiene deformaciones seudo plásticas con poca elasticidad. (Wulf, 2008).

Tereftalato de poliestireno - PET -, químicamente es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (paraxileno) y el etilenglicol (etileno). Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. (Wikipedia.org).

El PET es producido a partir del petróleo crudo, gas y aire. Un kilogramo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico (Korody, 2008).

1.2.3.2. ¿Qué es un asfalto modificado?

Son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se les añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación (Wulf, 2008).

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.

Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. (Wulf, 2008).

1.2.3.3. Principales modificadores utilizados en el Asfalto

Desde hace bastante tiempo se emplea caucho como modificador, ya sea natural o sintético, con tasas no superior al 5 %.

Actualmente existen los polímeros sintéticos de formulación especial que resultan muy competitivos. Asfaltos modificados con estos polímeros han sido ensayados en pavimentos de varios países

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

POLÍMERO TIPO I: Modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastómeros radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno – Butadieno - Estireno (SBS) o Estireno - Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

POLÍMERO TIPO II: Modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales

POLÍMERO TIPO III: Modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etileno – Vinil - Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

La obtención de una buena mezcla de asfalto y polímero, dependerá de que el polímero adicionado tenga una estructura química que le permita una buena dispersión en el asfalto, de modo de lograr una estructura de malla, la cual a su vez dependerá del grado de productos aromáticos que contenga el asfalto. El grado de modificación en la elasticidad dependerá del tipo de polímero empleado y su concentración (Wulf, 2008).

Los nuevos procesos en los cuales el polímero se asocia con el asfalto a través de una reacción química, incrementan notablemente las propiedades reológicas del asfalto (Wulf, 2008).

1.2.3.4. Procesos de modificación de mezclas Asfálticas

La modificación de las mezclas asfálticas para lograr cambios en sus propiedades, se realizan a través de dos métodos de incorporación del agente modificante, en este caso, el tereftalato de poliestireno. Se analizan las propiedades de la mezcla asfáltica modificada y analizar cuál de ellos presentan mejores resultados en comparación con una mezcla asfáltica sin modificar (Monturiol, 2019). En ambos métodos, el porcentaje de asfalto utilizado se determina utilizando el porcentaje total sobre el agregado de la mezcla.

1.2.3.4.1. Método Húmedo

“Este método consiste en añadir el agente modificante al asfalto en caliente previo a ser mezclado con el agregado. Para ello, se debe de aumentar la temperatura de mezclado del asfalto lo cual implica un costo adicional. Sin embargo, esto puede significar un ahorro a largo plazo en el proceso de construcción de carreteras dados los beneficios en las propiedades de la mezcla” (Monturiol, 2019).

“Para el caso del PET se realiza un análisis termogravimétrico con el fin de obtener las temperaturas de recristalización y de fusión del material para así determinar la temperatura óptima de incorporación y mezcla. Una vez definida la temperatura se realizan pruebas con el material en distintos tamaños para determinar cuál es el tamaño óptimo tomando en cuenta criterios de trabajabilidad, incorporación, homogeneidad de la dispersión y mejora de sus propiedades del asfalto. Así Monturiol (2019) en su investigación, para su primer intento, modificó el asfalto con partículas de PET de un tamaño aproximado de 0,5 cm de lado o menor a una temperatura en un rango entre 180°C y 185°C y un tiempo de mezclado de 2 horas y media; y, se utilizó un porcentaje de plástico de 1,5% del peso total del asfalto. Esto dado que se quería sobrepasar la temperatura de recristalización, además de asegurarse que la mezcla mejore su trabajabilidad. El proceso se llevó a cabo en el equipo modificador de asfalto del LanammeUCR. Sin embargo, el

plástico no se mezcló de la manera deseada ya que las partículas no se derritieron ni se mezclaron de manera homogénea, dejando un porcentaje aproximadamente de 90% del plástico incorporado inicialmente en el fondo del recipiente. (Monturiol, 2019).

Es por ello que Monturiol (2019), decidió reducir el tamaño de partícula para así lograr una mejor incorporación entre el asfalto y el PET, además de aumentar el tiempo de mezclado a 3 horas. Para ello utilizó el molino del LanammeUCR para reducir el tamaño del plástico a un máximo de 0,5 mm de diámetro aproximadamente.

El diseño de la mezcla se lleva a cabo siguiendo la metodología establecida, sin ningún paso extra, solamente considerando el porcentaje de asfalto modificado correspondiente (Monturiol, 2019). Para ello, se elaboraron especímenes mezclando distintos porcentajes de asfalto, siendo éstos 6% y 6,5% para así calcular porcentaje óptimo de asfalto a partir de las mediciones de la gravedad específica, capacidad de absorción y porcentaje de vacíos de cada espécimen. Una vez obtenido este porcentaje, se procede a calcular el diseño de la mezcla y a realizar los especímenes necesarios para las pruebas requeridas para evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica (Monturiol, 2019).

Las mezclas realizadas se dejaron curando por un periodo de 2 horas a una temperatura de 165°C. Una vez transcurrido este tiempo, se procede al cálculo del porcentaje de vacíos de cada espécimen donde se debe de cumplir un porcentaje de $4,0 \% \pm 0,5\%$ para el caso de los especímenes de diseño y de $7,0 \% \pm 0,5\%$ para el resto de muestras necesarias para evaluar el desempeño de la mezcla elaborada con el asfalto modificado con PET. (Monturiol, 2019).

1.2.3.4.2. Método Seco

“Este método se diferencia del húmedo por el momento y forma de incorporación del plástico al asfalto. Como se comentó previamente, mediante el método húmedo el asfalto es al que se le adiciona el modificante, en este caso, el plástico, bajo condiciones específicas, mientras que el método seco consiste en la sustitución de parte del agregado fino y el uso de asfalto sin modificar”. (Monturiol, 2019).

Monturiol (2019) en su investigación afirma: “Para este método se realizó la mezcla a una temperatura de 165 °C ya que no se desea que el plástico modifique su estado, más bien que éste actúe como el agregado fino y se utilizó un tiempo de curado de dos horas a 150 °C”.

Monturiol (2019) en su investigación recomienda: “Un cuidado adicional que se debe de tener es que al sustituir parte del agregado fino por plástico u otro agente modificante, hay que tomar en consideración la diferencia del peso de estos materiales ya que no es lo mismo en cuanto a volumen una cantidad de plástico que de agregado. Es por ello que se debe realizar una corrección por volumen a partir de la densidad de cada material para así al sustituir por ejemplo un 1 % de agregado fino por el mismo porcentaje de plástico, no se incurra en el error de añadir un mayor volumen de plástico lo cual afecta la mezcla ya que las partículas no se adhieren entre sí de la manera deseada lo cual produce que los especímenes no mantengan su forma ni el porcentaje de vacíos al ser compactados”.

En su trabajo de investigación Monturiol (2019) utilizó partículas de plástico pasando la malla N° 4, es decir, menores a 4,75 mm de lado. Indica que, al realizar la mezcla, se coloca el agregado caliente en el recipiente donde posteriormente se añade el plástico frío. Ambos materiales se mezclan para homogenizar antes de verter el asfalto. Una vez realizado este paso adicional, el proceso de mezclado con el asfalto original es igual al usualmente utilizado. El tiempo de curado es

de dos horas a la temperatura de compactación, siendo esta mayor para el método húmedo en comparación con el método seco y el de control (Monturiol, 2019).

1.2.3.5. ¿Por qué se modifican los asfaltos?

Se conoce que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular y el exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son causados además por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo, con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además, con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados “Asfaltos Modificados” (Wulf, 2008).

Algunas de las bondades que se pueden obtener a partir de la modificación del cemento asfáltico son:

- Disminución de la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión interna.
- Mejorar la flexibilidad y la elasticidad a bajas temperaturas.
- Mejorar el comportamiento a la fatiga.
- Aumentar la adhesividad agregado – ligante.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento (Reyes y Ortiz, 2002).

Entonces, los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes, de las mezclas que componen las capas o superficie de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado, disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas (Wulf, 2008).

1.2.3.6. Estructura de los Asfaltos Modificados

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continúa constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta, micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de

temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas (Wulf, 2008).

1.2.3.7. Compatibilidad de los polímeros

Para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base a fin de que el tipo de polímero sea compatible con el cemento asfáltico, asimismo la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta, el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.); y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible. Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas o en contenedores. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado (Wulf, 2008)

Una de las características físicas que lo diferencian de otros compuestos, es la viscoelasticidad, lo que significa que el material tiene

las propiedades elásticas de los sólidos y el comportamiento viscoso de un líquido (Huang, 2004). Un material elástico es el que tiene propiedades que le permiten recuperar su forma inicial, cuando es deformado, mientras que el material viscoso tiene la particularidad de que fluye y su deformación depende del tiempo.

1.2.3.8. Cementos asfálticos para mezclas en construcción vial.

Se puede distinguir los tipos CA 40-50, CA 60-70, CA 85-100, CA 120-150, entre otros.

Para mezcla en caliente de concreto asfáltico, el cemento asfáltico rinde aproximadamente 30 gl/m³ de mezcla, y representa de 4 a 7 % del peso total de la mezcla.

1.2.3.8.1. Características o propiedades deseables del cemento asfáltico

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres características o propiedades del asfalto importantes a considerar:

Consistencia: Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, puesto que son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia.

Si se expone al aire el cemento asfáltico en películas delgadas y se le somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo en las mezclas con agregado pétreo, el asfalto tiende a endurecerse y aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta, por lo cual un control inadecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar un daño al cemento asfáltico, tanto como el servicio en la

construcción terminada. Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o de penetración.

Pureza: El cemento asfáltico se compone casi enteramente de betunes, los cuales, por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más del 99,5% solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto, casi betunes puros. Las impurezas son inertes o insolubles, si existieran. Normalmente el cemento asfáltico, cuando sale de la refinería, está libre de humedad, pero puede haberla en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, ésta provoca espumas cuando se calienta por encima de los 100°C (212°F).

Seguridad: La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto, las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175°C (347°F). El cemento asfáltico, si se les somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a que esto ocurre, normalmente es más elevada que la de trabajo en obras de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto, lo que será ampliado en el informe final de la tesis.

1.2.3.8.2. Especificaciones del cemento asfáltico 40/50

Tabla 1. Especificaciones cemento asfáltico 40/50

PARÁMETROS	NTP/ ASTM	AASHTO	VALOR	
			Mín	Máx
PENETRACIÓN a 25 °C, 100g, 5s, 0.1 mm	D5	T49	40	50
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/min, cm	D 113	T 51	100	

VOLATILIDAD	D 92	T 48	232	
Punto de Inflamación, °C				
Gravedad específica a 15.6°C	D 70	T 228	Reportar	
FLUIDEZ				
Punto de Ablandamiento, °C	D 36		Reportar	
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445		Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170	T 201	Reportar	
SOLUBILIDAD				
Solubilidad en tricloroetileno, %m	D 2042	T44	99.0	
ENSAYOS DE PELÍCULA FINA				
3.2 mm; 163 °C; 5 horas				
Pérdida de calentamiento, % m	D 1754	T 179		0.8
Penetración retenida, 100 g, 5s, 0.1 mm, % del original	D 5	T 49	58	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113	T 51		
OTROS				
Índice de Penetración	-----	Nota 2	Reportar	
Ensayo de la Mancha (Spot Test) (Nota 1)		T 102	Reportar	

Fuente: Refinería La Pampilla S.A.A.

NTP: Norma Técnica Peruana.

ASTM: American Society for Testing Materials.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

UNE: Normas de la Asociación Española de Normalización.

Nota 1: El uso del Spot Test es opcional. Cuando sea especificado, se debe indicar el tipo de solvente utilizado en la determinación del ensayo: Nafta estándar, Nafta-xileno, Heptano-xileno y también en el caso de utilizar solventes con xileno, el porcentaje de xileno utilizado.

Nota 2: UNE 104-281

Los cementos asfálticos serán homogéneos, libre de agua y no formarán espuma al ser calentados a 170 °C.

1.2.3.8.3. Especificaciones del cemento asfáltico 60/70

Tabla 2. Especificaciones cemento asfáltico 60/70

PARÁMETROS	NTP/ ASTM	AASHTO	VALOR	
			Mín	Máx
PENETRACIÓN a 25 °C, 100g, 5s, 0.1 mm	D5	T49	60	70
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/min, cm	D 113	T 51	100	---
VOLATILIDAD Punto de Inflamación, °C	D 92	T 48	232	---
Gravedad específica a 15.6°C	D 70	T 228	Reportar	
FLUIDEZ				
Punto de Ablandamiento, °C	D 36		Reportar	
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445		Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170	T 201	Reportar	
SOLUBILIDAD				
Solubilidad en tricloroetileno, %masa	D 2042	T44	99.0	
ENSAYOS DE PELÍCULA FINA 3.2 mm; 163 °C; 5 horas				
Pérdida de calentamiento, % m	D 1754	T 179		0.8
Penetración retenida, 100 g, 5s, 0.1 mm, % del original	D 5	T 49	58	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113	T 51		
OTROS				
Índice de Penetración	-----	Nota 2	Reportar	
Ensayo de la Mancha (Spot Test) (Nota 1)		T 102	Reportar	

Fuente: Refinería La Pampilla S.A.A.

1.2.3.8.4. Ensayos de los cementos asfálticos

Ensayo de viscosidad:

Permite conocer los valores de la resistencia del asfalto a fluir. Este ensayo se puede realizar a temperaturas de 60°C o de 135°C. A 60°C se efectúa la viscosidad absoluta y se utiliza un viscosímetro capilar, el cual se coloca en un baño de aceite a temperatura constante. Se incorpora el asfalto precalentado hasta que llegue a la marca de llenado.

Una vez que el sistema ha alcanzado la temperatura de 60°C, se aplica un vacío y se mide el tiempo en que tarda en desplazarse el asfalto por el capilar entre dos marcas consecutivas. Al multiplicarse este tiempo por el factor de calibración de viscosímetro, se obtiene el valor de la viscosidad absoluta en Poises. A temperatura de 135°C se realiza el ensayo de viscosidad cinemática y sus unidades son en centistokes.

Ensayo de penetración:

Se trata de un método de ensayo empírico antiguo, que permite medir la dureza o consistencia del cemento asfáltico. Consiste en la penetración de una aguja normalizada de 100 g la cual se introduce en un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia de 25°C por un tiempo de 5 segundos, midiéndose después la penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm.

Ensayo de punto de inflamación:

El punto de inflamación representa la temperatura a la cual un asfalto puede calentarse con seguridad, sin que éste se inflame en presencia de una llama. Esta temperatura es menor que la temperatura de combustión o punto de combustión. El ensayo se realiza en el “vaso abierto de Cleaveland” consiste en llenar un vaso de bronce con asfalto, y se calienta a una velocidad gradual de temperatura. Cada cierto tiempo se pasa una llama sobre la superficie hasta que se

produzca una inflamación o flash debido a la evaporación de solventes. Esta temperatura representará el punto de inflamación.

Ensayo en horno de película delgada:

Este ensayo simula el envejecimiento del asfalto, en condiciones normales en una planta de mezcla en caliente. El grado de envejecimiento se mide con los ensayos de penetración, viscosidad, etc. El ensayo consiste en colocar 50 ml de cemento asfáltico en un platillo quedando la muestra con 3 mm de espesor, que se coloca en un horno a 163 °C, sobre un plato que gira a 5 – 6 revol/ min durante 5 horas y a una temperatura constante de 163 °C concluido el plazo se extrae la muestra para efectuarle los ensayos de viscosidad, penetración, pérdida de peso, etc. La diferencia en peso está acotada por normas.

Ensayo de ductilidad:

El procedimiento consiste en formar una probeta de cemento asfáltico con dimensiones determinadas y sostenerlas a un proceso de elongación. Este proceso se efectúa a una temperatura normalizada de 25 °C y a una velocidad de 5 cm/min. El ensayo de ductilidad nos da la distancia a la cual se rompe la muestra y se mide en cm.

Ensayo de solubilidad:

Este ensayo permite conocer el grado de pureza de los cementos asfálticos y para ello se utiliza actualmente como solvente el tricloro-etileno, que es menos tóxico que otros solventes empleados anteriormente, separando así la materia inerte como sales, carbón libre o contaminantes inorgánicos que no son solubles. El procedimiento consiste en disolver 2 gr de asfalto en 100ml de solvente, para luego filtrar dicha solución. Por diferencia de pesada, del filtro antes y después de filtrar, se determina la cantidad de impurezas retenidas y se calcula el grado de pureza.

A partir de los años 90, se implementó el sistema de clasificación por desempeño, SUPERPAVE. Esta clasificación tiene como objetivo asignar a cada tipo de ligante asfáltico una identificación para su uso adecuado según las condiciones en sitio de acuerdo al estudio de los materiales de manera independiente y combinada, evaluando así los parámetros de desempeño de la mezcla. Para esto, en el asfalto se realizan ensayos para determinar las características reológicas y las variaciones según la temperatura. Se usan ensayos de acondicionamiento. La clasificación por grado de desempeño se reporta usando dos números (PG XX – YY), donde el primero (XX) corresponde a la temperatura máxima promedio de siete días en el lugar de colocación del pavimento y el segundo (YY) es la temperatura mínima que se espera en el pavimento (Federal Highway Administration, 2002). A partir de esta clasificación, es posible especificar ligantes asfálticos adecuados para las diferentes situaciones climáticas que se pueden presentar (Monturiol, 2019).

1.2.3.9. Propiedades físicas de la mezcla asfáltica

a) Estabilidad: “Es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Depende de la fricción y de la cohesión interna” (Padilla, 2004).

“La fricción interna está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial”. “La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto”. “En términos generales entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla” (Padilla, 2004). Ver Tabla N° 3.

Tabla 3. Estabilidad Baja

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño	Baja resistencia durante la

medio en la mezcla	compactación y posteriormente dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fuente: Padilla Rodríguez, 2004

b) Durabilidad: “La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto”. “Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos”. “Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación, contribuye a la durabilidad del pavimento”. “Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla” (Padilla, 2004). Ver Tabla 4.

Tabla 4. Poca durabilidad

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado

Fuente: Padilla Rodríguez, 2004

c) Impermeabilidad: “Es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior o a través de él” (Padilla, 2004). “El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de vacíos, sin importar si está o no conectados y por el exceso que tienen a la superficie del pavimento” (Padilla, 2004). Ver Tabla N° 5.

Tabla 5. Mezcla demasiado permeable

Causa	Efecto
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y poca estabilidad

Fuente: Padilla Rodríguez, 2004

d) Trabajabilidad: “Es la facilidad con que una mezcla puede ser colocada y compactada” (Padilla, 2004). “Las mezclas gruesas tienen tendencia a segregarse (separar) durante su manejo y también pueden ser difíciles de compactar” (Padilla, 2004).

“La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares” (Padilla, 2004).

Tabla 6. Mala trabajabilidad

Causa	Efecto
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Mezcla poco durable, superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: Padilla Rodríguez, 2004

e) Flexibilidad. “Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la Subrasante”. “La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfaltico debido a que virtualmente todas las Subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo)” (Padilla, 2004).

f) Resistencia a la Fatiga. – “Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Así mismo un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga” (Padilla, 2004) como podemos ver en la Tabla N°7.

Tabla 7. Mala Resistencia a la Fatiga.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falla de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: Padilla Rodríguez, 2004

g) Resistencia al Deslizamiento. – “Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada”. (Padilla, 2004).

“Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre la película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo)”. (Padilla, 2004).

“La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie y una velocidad de 65 km/hr” (Padilla, 2004).

“Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una resistencia lisa”. “La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm” (Padilla, 2004). Ver tabla 8

Tabla 8. Poca resistencia al deslizamiento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Padilla Rodríguez, 2004

1.2.3.10. Clasificación de las mezclas asfálticas

Según Padilla (2004): “Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas” (Padilla, 2004):

A. Por Fracciones de Agregado Pétreo Empleado.

“Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante”.

“Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla”.

“Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero”.

“Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico”.

B. Por la Temperatura de Puesta en Obra.

“Mezclas Asfálticas en Caliente:” “Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados,

según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos” (Padilla, 2004). “La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente” (Padilla, 2004).

“Mezclas Asfálticas en Frío:” “El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados) y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente” (Padilla, 2004).

C. Por la Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.

“Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas” (Padilla, 2004).

- “Mezclas Cerradas / Densas: su proporción vacíos no supera el 6%”.
- “Mezclas Semi – Cerradas o Semi – Densas: La proporción de vacíos está entre el 6% y el 10%”.
- “Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12%”.
- “Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20%”.

D. Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.

- “Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm”.
- “Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico” (Padilla, 2004).

E. Por la Estructura del Agregado Pétreo.

“Mezclas con esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable” (Padilla, 2004). “Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla” (Padilla, 2004).

“Mezclas sin esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas” (Padilla, 2004).

F. Por la Granulometría.

“Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico” (Padilla, 2004).

“Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico” (Padilla, 2004).

1.2.3.11. Consideraciones en el diseño de la mezcla asfáltica

Según Padilla (2004), Las fases que debemos considerar ante el diseño de una mezcla son las siguientes:

a) “Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de Infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (Rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación” (Padilla, 2004).

b) “Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras” (Padilla, 2004).

c) “Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar” (Padilla, 2004).

d) “Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación” (Padilla, 2004).

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada (también puede usarse el cemento), que deberá cumplir la norma AASHTO M-303 y lo indicado en la Sección 429 (EG-2013).

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall.

e) “Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante” (Padilla, 2004).

f) “Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas

analizadas estén dentro de un huso previamente seleccionado” (Padilla, 2004).

g) “Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del firme, Técnicas de Diseño y Ejecución, Sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), Condiciones de drenaje” (Padilla, 2004).

1.2.3.12. Método de diseño de la mezcla asfáltica

Según Padilla (2004): “Las mezclas asfálticas están formadas por un material pétreo bien graduado y cemento asfáltico como ligante”. “Se elaboran en una planta que calienta el material pétreo a una temperatura de 140 ó 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura de 110 a 130 °C” (Padilla, 2004).

“Las mezclas terminadas se extienden en capas uniformes en el espesor y ancho requeridos, para luego ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C. Un pavimento de concreto asfáltico debe cumplir los siguientes objetivos principales” (Padilla, 2004):

a. “Suficiente estabilidad en la mezcla como para satisfacer las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos” (Padilla, 2004).

b. “Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada” (Padilla, 2004).

c. “Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación” (Padilla, 2004).

d. “Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad” (Padilla, 2004).

“El diseño de mezclas asfálticas en caliente se realiza mediante el Método de Marshall, el cual basado en el empleo de ensayos mecánicos” (Padilla, 2004):

MÉTODO MARSHALL

“El Método de dosificación Marshall desarrollado por el Ing. Bruce Marshall, inicialmente fue utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, actualmente es el método más utilizado para las mezclas asfálticas en caliente, el cual está basado en el empleo de ensayos mecánicos” (Padilla, 2004).

Chávez y Herna (2014) en su Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil “Elaboración de mezclas asfálticas con partículas de caucho reciclado en el departamento de Lambayeque” indica: “El desarrollo del método implica la confección de una serie de probetas normalizadas de 2 ½ de altura y 4 de diámetro suelen utilizarse al menos cinco contenidos de cemento asfáltico, variando entre 1% y 0.5%” (Chávez y Herna, 2014). “Las probetas se preparan de acuerdo a un procedimiento de calentamiento, mezclado y compactación” (Chávez y Herna, 2014).

“La compactación del mineral dentro de los moldes se realiza a través del Martillo Marshall, que es un dispositivo de acero, formado por una base plana y circular de 3 7/8 de diámetro, equipado con un peso de 10

lb (4.54 kg) y construido de modo de obtener una altura de caída 18” (Chávez y Herna, 2014).

“Las probetas se compactan con 85 golpes según el tipo de tránsito de diseño” (Chávez y Herna, 2014).

Según Padilla (2004): “El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos” (Padilla, 2004).

“Es decir el método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto” (Padilla, 2004). “La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semiconfinado, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F)” (Padilla, 2004). “La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad” (Padilla, 2004). “El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado” (Padilla, 2004). “El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada” (Padilla, 2004). “El valor del Flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura” (Padilla, 2004). “Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten” (Padilla, 2004).

Ahuellamiento

“Deformación permanente, se define como la falla causada por el efecto de esfuerzos verticales de compresión en la capa asfáltica de un pavimento, manifestada en ahuellamiento bajo la superficie de carga de las llantas” (Padilla, 2004).

1.2.4. Tereftalato de Polietileno - PET

1.2.4.1. Historia del Tereftalato de Polietileno – PET

Según González Marcos, María P. y López Fonseca, Rubén en Navarro (2017), el Tereftalato de Polietileno (Polietilen Tereftalato – PET), “Fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras”. “Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto”. “A partir de 1946 se empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se comenzó a emplear en forma de filme para envasar alimentos”. “Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976”. “A partir de 1976 se comenzó a usar el PET para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes principalmente para bebidas, sin embargo, el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para empaques”. “Esta diversificación tan importante ha originado que el PET haya experimentado un gran crecimiento en su consumo y que siga siendo el material de embalaje que actualmente presenta las mayores expectativas de crecimiento a nivel mundial”. “Desde principios de los años 2000 se utiliza también para el envasado de cerveza” (Navarro, 2017).

“Sin embargo, se propone este material involucra a la tecnología de pavimentos flexibles con adición de aditivos de polímeros PET, adicionados a las mezclas asfálticas modificadas, este tipo de estudio

no ha sido una técnica ampliamente estudiada, ni utilizada en el mundo” (Navarro, 2017).

“Sin embargo, es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles” (9). “Algunas compañías manufacturan el PET bajo diferentes marcas comerciales, por ejemplo, en los Estados Unidos y Gran Bretaña usan los nombres de Mylar y Melinex”. “A pesar de ser un plástico reciclable su fabricación involucra sustancias tóxicas, metales pesados, químicos, irritantes y pigmentos, los cuales al final del proceso de producción permanecen en el aire, lo cual es perjudicial para el medio ambiente”. “Aun así, Greenpeace ha declarado que el PET es menos perjudicial para la salud que el PVC u otros plásticos”. “Por ende, con la adición de este polímero al asfalto se piensa modificar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas”. “Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas” (Navarro, 2017).

La transformación del PET para su disposición final surge de la necesidad de solucionar la gestión de residuos sólidos urbanos impulsándose el desarrollo de sistemas alternativos del reciclado. Alrededor de un 75% del PET recuperado se usa para hacer fibras de alfombras, ropa y geotextiles. La mayor del 25% remanente es extruido en hojas para termoformado, inyectado / soplado en envases para productos no alimenticios, o compuestos para aplicaciones de moldeo (Plásticos Mexicanos). Los materiales de empaque de PET representan, aproximadamente, solo el 0,3% del total de los residuos sólidos urbanos, por lo que en todo el mundo se está realizando esfuerzos para reducir la cantidad de envases de PET que, se depositan en los rellenos sanitarios (Korody, 2008).

1.2.4.2. Características del Tereftalato de Polietileno – PET

Según Padilla (2004) el PET se caracteriza por lo siguiente: “Biorientación: Permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores”.

Cristalización: “Permite lograr resistencia térmica para utilizar bandejas termoformadas en hornos a elevadas temperaturas de cocción”.

Esterilización: “El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma”

1.2.4.3. Propiedades del Tereftalato de Polietileno – PET

El PET presenta las siguientes propiedades relevantes:

- “Alta resistencia al desgaste y corrosión”.
- “Alta resistencia al desgaste”.
- “Muy buen coeficiente de deslizamiento”.
- “Buena resistencia química”.
- “Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad”.
- “Alta rigidez y dureza”.
- “Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes”.

Asimismo, entre otras propiedades del PET se señala:

Propiedades Únicas: “Claridad, brillo, transparencia, barrera a gases u aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas, permite cocción en microondas” (González et. al., 1999).

Costo / Performance: El precio del PET ha sufrido menos fluctuaciones que el de otros polímeros como PVC-PP-LDPE-GPPS en los últimos años (González et. al., 1999).

Disponibilidad: “Hoy se produce PET en Sur y Norteamérica, Europa, Asia y Sudáfrica” (González et. al., 1999).

Reciclado: “El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET”, “lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso no son, lo suficientemente altas, como para asegurar la esterilización del producto” (González et. al., 1999).

Tabla 9. Características técnicas del PET

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1,39
Resistencia a la tensión	Mpa	59-72
Resistencia a la compresión	Mpa	76 - 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 – 0,04
Dureza	---	Rockwell M94 – M101
Límite elástico	%	50 - 150
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ /°C	15,2 - 24
Resistencia al calor	°C	80 -120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 - 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	---	3,65
Absorción de agua (24 horas)	%	0,02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	---	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	---	Excelente
Calidad óptica	---	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Industria del plástico – Richardson & Lokensgard

1.2.4.4. Desventajas del Tereftalato de Polietileno – PET

Secado: “Todo poliéster tiene que ser secado a fin de evitar pérdida de propiedades. La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005%” (González et. al., 1999).

Temperatura: “Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 grados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente”. A excepción del PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 °C (González et. al., 1999).

Intemperie: “No se aconseja el uso permanente en intemperie” (González et. al., 1999).

Buena resistencia química a: “Grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes” (Fuentes, et. al., 2012).

Poca resistencia química a: “Solventes halogenados, aromáticos, cetonas de bajo peso molecular y bases” (Fuentes, et. al., 2012).

1.2.4.5. Propiedades físicas y procesamiento del Tereftalato de Polietileno – PET

Según, Fuentes et. al. (2012): “El PET presenta una estructura molecular con regularidad estructural necesaria para tener un potencial de cristalización”. “Debido a la presencia de los anillos aromáticos en su cadena, el PET presenta una moderada flexibilidad molecular que se refleja en que su **Temperatura de Transición Vítrea** se encuentra en torno a los 70 – 80°C”. “Esto hace que su capacidad para cristalizar sea, controlada por las condiciones de enfriamiento” (Fuentes, et. al., 2012).

“Así, la densidad del PET puede variar desde 1,33 - 1,34 g/cm³ para un material amorfo hasta aproximadamente 1,45 - 1,51g/cm³ para el caso semi cristalino, éste último particularmente dependiente y proporcional al contenido de dietilenglicol (DEG) que puede generarse durante el proceso de síntesis” (Fuentes, et. al., 2012).

“El parámetro de solubilidad del PET es aproximadamente de 21,8 MPa^{1/2} lo que lo haría sensible, en mayor o menor grado, a algunos solventes como cetonas, clorados y alcoholes de 4 u 8 carbonos”; “pero en el caso de los productos semi cristalinos, sólo solventes donadores de protones son capaces de interaccionar con los grupos ésteres en forma efectiva”. “Aunque es un polímero polar, sus propiedades como aislante eléctrico a temperatura ambiente son buenas a altas frecuencias, debido a que el material, al estar por debajo de T_g, tiene restricciones en la orientación de dipolos” (Fuentes, et. al., 2012).

“Si una muestra amorfa es calentada cerca de 80°C se induce la cristalización en frío que genera una considerable distorsión dimensional, contracción y opacidad, por lo que limita la temperatura de servicio” (Fuentes, et. al., 2012).

“Otro factor a tener en cuenta durante el procesamiento es su carácter higroscópico y que en su estado fundido presenta una alta sensibilidad a **la degradación hidrolítica** de ahí que sea práctica común en la industria realizar ciclos previos de secado a temperaturas mayores a su T_g (entre 140-160°C) por períodos de hasta 6 horas antes de cualquier etapa de procesamiento” (Fuentes, et. al., 2012).

“Otro factor que limitó en sus inicios el moldeo por inyección fue su inherente **baja viscosidad del fundido que es altamente sensible a la temperatura**, por lo que las temperaturas de procesamiento se encuentran muy cercanas a su T_m (entre 270-290°C), para evitar el goteo en la boquilla” (Fuentes, et. al., 2012).

“Parte de este inconveniente ha sido solucionado al diseñar los equipos tal que incorporen sistemas que controlen el flujo libre a través de la boquilla” (Fuentes, et. al., 2012).

“Los primeros productos moldeados correspondieron a piezas en las cuales se promovió la cristalización en forma controlada por la adición de agentes nucleantes y/o empleando altas temperaturas de molde cercanas a los 130-140°C, lo que conduce a una alta rigidez, resistencia al rallado superficial y opacidad, pudiéndose emplear a temperatura entre su T_g y T_m sin problemas de distorsión dimensional” (Fuentes, et. al., 2012).

“Sin embargo, el interés por este tipo de productos se mantuvo limitado hasta que se reconoció la utilidad del refuerzo con la fibra de vidrio, obteniéndose PET semicristalinos destinados principalmente para aplicaciones eléctricas y electrónicas” (Fuentes, et. al., 2012).

“Por otro lado, si se desean productos transparentes obtenidos por inyección, es necesario que la temperatura del molde sea menor a 50°C y no usar grados que contengan agentes nucleantes”. “Sin embargo, a pesar de las buenas propiedades ópticas y mayor tenacidad respecto al caso semicristalino, pierde resistencia química por lo que ha sido limitado o desplazado el uso de estos productos por otras opciones de procesamiento” (Fuentes, et. al., 2012).

“El interés definitivo por el uso de PET surgió al descubrir la utilidad de obtener productos biorientados en combinación con la introducción de la copolimerización con ácido isoftálico o 1,4-ciclohexano-dimetanol”. “Tal combinación permite obtener productos que presentan mejoras en transparencia, tenacidad y propiedades barreras, características esenciales de las botellas y algunos laminados y películas de PET destinados a envases y embalajes” (Fuentes, et. al., 2012).

“En este caso se propicia un proceso de cristalización por deformación, que genera una morfología cristalina orientada, muy diferente a la obtenida por un simple calentamiento de una muestra amorfa o durante el enfriamiento en el moldeo por inyección”. “Si bien la cristalinidad puede alcanzar un 40%, la morfología desarrollada permite conservar la transparencia del PET, mientras que son favorecidas tanto la rigidez y tenacidad del sistema, al igual que las propiedades barreras”. “Por lo general, estos productos presentan, una densidad entre 1,38 y 1,39 g/cm³” (Fuentes, et. al., 2012).

1.2.4.6. Degradación del Tereftalato de Polietileno – PET

“El Tereftalato de Polietileno (PET) puede ser degradado mediante diferentes métodos: proceso químico y el proceso natural”. “Siendo el químico, el método que puede hacer un reúso del material para un nuevo producto, obtención de combustibles entre otras cosas. Esto es debido a que puede ser modificada su estructura molecular”. “El proceso natural, puede tardar una gran cantidad de tiempo debido al tiempo de vida del PET, puede llegar a degradarse en un aproximado de 500 años o más” (Fuentes, et. al., 2012). Este proceso natural o de foto degradación se debe a: “la luz ultravioleta del sol provee energía de activación requerida para iniciar la incorporación de oxígeno en el polímero”. “Este proceso hace que el plástico se rompa y fragmente en trozos cada vez más pequeños hasta que las cadenas poliméricas alcancen un peso molecular suficientemente bajo para que pueda ser metabolizada por los microorganismos” (Fuentes, et. al., 2012).

1.3. Definición de Términos Básicos

1) Método Marshall. “El Método de dosificación Marshall desarrollado por el Ing. Bruce Marshall, inicialmente fue utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano”, “actualmente es el método más utilizado para las mezclas en caliente, el cual está basado en el empleo de ensayos mecánicos”. “El criterio para conseguir una

mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos” (Navarro, 2017)

El Método Marshall, tal como ha sido adoptado por la ASTM bajo la codificación ASTM D1559, es aplicable a mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico y agregados de granulometría densa o fina, con un tamaño nominal máximo de 25 mm. Se utiliza tanto para el diseño en laboratorio como para el control de mezclas elaboradas en planta. Su empleo en mezclas abiertas es de relativa conveniencia, y exige la aplicación del criterio del ingeniero para que conduzca a resultados confiables.

“Este método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto”. “La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semi - confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F)”. “La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad”.

“El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado”. “El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada”. “El valor del Flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura” (6). “Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta

asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten” (Navarro, 2017).

2) Siglas.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte)

ASTM: American Society for testing Materials (sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

MAC: Mezcla Asfáltica en Caliente.

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

NTP: Norma Técnica Peruana.

PAM: Peso de Agregados de la Mezcla Asfáltica.

PPR: Partículas de Plásticos Reciclado. (Navarro, 2017).

3) Tamaño máximo nominal. Para agregado procesado, el tamaño máximo nominal es la menor malla donde se produce el primer retenido. El tamaño máximo nominal del agregado fino está comprendido entre 2.36mm y 4.76mm.

4) PET: Polietileno Tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles, está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

5) Agregados pétreos: Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. (Smith M. R. and L. Collins, 1994).

6) Granulometría: Graduación del tamaño de las piedras o granos que constituyen los agregados fino y grueso. Método para determinar dicha graduación.

7) Briquetas: El Método Marshall utiliza briquetas de 100 mm (4.0 pulg) de diámetro y 63,5 mm (2.5 pulg) de altura, las cuales son preparadas siguiendo un procedimiento normalizado de calentamiento, mezclado y compactación dinámica de la mezcla.

8) Mezcla asfáltica en caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados pétreos, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos.

9) Agregado fino: Es aquel, proveniente de la desintegración natural (arena natural) o artificial (manufacturada) de las rocas, que pasa al Tamiz 3/8" (9.51 mm) y es retenido en el tamiz N° 200 (74µm), como se indica en la Norma Técnica Peruana 400.011.

10) Agregado grueso (N.T.P. 400.037): Es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) y proviene de la desintegración natural o mecánica de la roca, que cumple con los límites establecidos en la N.T.P. 400.037.

11) Superficie específica: Suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado fino por unidad de peso; en su determinación se consideran dos supuestos: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las aberturas.

12) Módulo de finura: Índice aproximado que representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra; se usa para controlar la uniformidad de los agregados. Para el caso de la arena se calcula

como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas:
N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 dividido entre 100.

13) Material más fino que la malla n° 200: Material constituido por arcilla y limo que se presenta recubriendo el agregado grueso o en forma de partículas sueltas mezclado con la arena.

Capítulo II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción del Problema

Es importante resaltar que los productos de residuo plástico son una de las problemáticas más grandes del mundo debido a que sus periodos de degradación son de aproximadamente de 800 años, generando contaminación ambiental en las cuencas hidrográficas y terrenos de disposición de basura (Reyes Liscano & Reyes Ortiz, 2004) debido a que los desechos plásticos contiene varios elementos tóxicos, especialmente cadmio y plomo que son perjudiciales debido a que pueden mezclarse con agua de lluvia y contaminar el suelo y el agua (Jaramillo et al., 2020), por tanto, parece lógico encontrar estos materiales plásticos para reciclar (Ortiz Castellanos et al., 2020). Teniendo en cuenta esto los investigadores ven una alternativa de mejorar las características del asfalto y mezclas asfálticas convencionales al incorporar desperdicios plásticos para analizar su comportamiento dentro de la mezcla asfáltica convencional y a la vez obtener un impacto ambiental significativo por el gran porcentaje de contaminación que estos desperdicios plásticos generan.

2.2. Formulación del Problema.

2.2.1. Problema general.

¿De qué manera la inclusión del plástico reciclado PET como agregado en las mezclas asfálticas mejora sus características físicas y estructurales?

2.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuánto mejora el comportamiento a las deformaciones permanentes en una mezcla modificada con plástico frente a una mezcla asfáltica tradicional?

2. ¿Cómo influye el uso de plástico reciclado PET en las propiedades físicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad de respuesta en climas cálidos y cambios de temperatura?
3. ¿Cómo influye el uso de plástico reciclado PET en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad para soportar cargas?
4. ¿Cómo la inclusión de plástico reciclado PET contribuye con la solución de la problemática ambiental desde el punto de vista de la Ingeniería Civil?

2.3. Objetivos.

2.3.1. Objetivo general.

Determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada con plástico PET en comparación a la convencional.

2.3.2. Objetivos específicos

- Determinar cómo influye el uso de plástico reciclado PET en las propiedades físicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad de respuesta en climas cálidos y cambios de temperatura.
- Determinar cuánto mejora el comportamiento a las deformaciones permanentes en una mezcla modificada con plástico frente a una mezcla asfáltica convencional.
- Determinar cómo influye el uso del plástico reciclado PET en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad de soporte de cargas.

- Determinar la contribución a la solución de la problemática ambiental desde el punto de vista de la Ingeniería Civil de la inclusión de plástico reciclado PET en las mezclas asfálticas.

2.4. Justificación de la investigación.

La presente investigación está justificada por las siguientes razones:

Para lograr el desarrollo de un país la interconexión e integración de sus distintas poblaciones con los mercados nacionales e internacionales, es fundamental. Por ello es necesario innovar en la búsqueda de nuevas tecnologías que contribuyan en aumentar la vida útil de los pavimentos, se construyan más y mejores carreteras con mayor durabilidad y reduciendo los costos de mantenimiento. Los pavimentos asfálticos se han constituido en los más versátiles y su uso cada día es muy requerido.

El desarrollo de la infraestructura vial en Perú; y, específicamente la de calles y carreteras en la selva donde el clima es muy cálido, muestra la necesidad de adelantar trabajos de investigación en busca de nuevos materiales o de mejorar la calidad de los existentes. En los pavimentos urbanos de las calles de Iquitos desde de los años ochenta se continúa utilizando mezclas asfálticas en caliente elaboradas solamente con arena, cemento asfáltico y filler, constituye un verdadero problema los orificios y huellas que dejan en el pavimento el soporte metálico de las motocicletas al estacionarse, que hace importante la necesidad del estudio del cemento asfáltico y la incidencia que los modificadores tienen en éstos para obtener mejoras o adecuaciones en los proyectos viales, así como la importancia que merece por ser un componente fundamental en las mezclas asfálticas. La importancia de esta investigación, también tiene que ver con la incorporación de materiales de desecho no biodegradables, como las botellas de plástico PET, que generan un alto grado de contaminación ambiental, en materiales asfálticos utilizados para la elaboración de mezclas asfálticas que se utilizan en la infraestructura vial del país. En esta investigación se

trabajará con un cemento asfáltico PEN 60/70, agregado grueso y agregado fino procesados y arena fina de Iquitos, filler y como modificador el PET. La modificación se realizará por vía seca para lograr una mejor integración de la mezcla.

En esta investigación que tiene por objetivo general el diseño de un pavimento flexible, a partir del uso de cemento asfáltico reforzado con material plástico de desecho PET, se busca mejorar las características mecánicas de la mezcla asfáltica para su mejor comportamiento frente al tránsito, entre otras: la resistencia a deformaciones, a los esfuerzos de tensión repetida, a la fatiga lo cual reduce el agrietamiento y fallas por ahuellamiento, así como la variación de temperatura por factores climatológicos. La adición de plástico reciclado le dará una propiedad diferente a la mezcla asfáltica para mejorar su comportamiento frente a las circunstancias del tráfico más exigentes, tipo de terreno y temperaturas de climas muy cálidos. Asimismo, se conoce que en un 90% del precio o costo del agua embotellada constituye el precio por la botella, las cuales no se reciclan y en un 70% se va a la basura cada año, tardando no menos 700 años en biodegradarse, lo cual desencadena efectos negativos en el ambiente.

El cuidado de nuestro medio ambiente nos exige hacia la reutilización de materiales y el uso de materia prima amigable con el medio ambiente, lo que genera en el campo de la ingeniería civil un impulso hacia la búsqueda de métodos innovadores para la prolongación de la vida útil de los materiales y sus componentes cumpliendo con estándares de sostenibilidad (Coicue Duarte & Sepúlveda Salazar, 2017), por un lado se reduce la contaminación que es generada por residuos en los sectores productivos, con el incentivo del aprovechamiento total de los subproductos, siendo posible mejorar ciertas propiedades tecnológicas de otros materiales para uso de ingeniería y sus ramas (Ramírez Pico et al., 2020), esto y otras motivaciones son lo que hacen nacer la importancia de esta

investigación, la cual se origina en el estudio de los efectos y comportamientos (Ruiz Jiménez et al., 2020).

La realización de este proyecto tiene una gran importancia en el sector productor de mezclas asfálticas (Cardoza Zambrano et al., 2019), pues tenemos claro que los materiales alternativos también han sido utilizados para modificar las propiedades de otros, siendo además temas de interés para las empresas emergentes debido a que se han dado cuenta de que necesitan estar en constante cambio porque la competencia puede arruinar cualquier organización (Barrientos Monsalve et al., 2020), ya que estas modificaciones traen consigo bajos costos en los materiales, ejemplo de esto son los bitúmenes modificados con polímeros (BMP) los cuales son materiales alternativos que actualmente se están empleando de manera amplia en la pavimentación de carreteras con un flujo vehicular alto y temperaturas que sobrepasan las estipuladas. Generalmente, los asfaltos que son modificados con polímeros mejoran sus propiedades, como tener características de menor susceptibilidad a la temperatura, mayor intervalo de plasticidad, mayor cohesión, mejor respuesta elástica, al igual que tener una mayor resistencia al agua y al envejecimiento por factores alternos, como el ambiente (Camargo Chávez & Suárez Mesa, 2010). Los materiales alternativos se consideran desechos de segunda mano a los cuales se les aporta un nuevo uso en diferentes tareas para generar beneficios excepcionales, en este caso para las ya mencionadas mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas y su comportamiento dependen directamente de las propiedades, composición y caracterización que ofrece el material modificador que se le va a agregar. Por tanto, la razón de modificar las mezclas asfálticas es superar las propiedades del asfalto convencional mejorando el desempeño a largo plazo, donde la mayoría de estos generan un incremento en el desempeño, durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica (Cárdenas & Fonseca, 2009). Para que así la

mezcla asfáltica modificada obtenga propiedades mecánicas deseables bajo las condiciones de servicio a las que este se someterá en futuro a cambios en temperatura, clima, zona geográfica y tipo de tráfico (Camargo Chávez & Suárez Mesa, 2010).

Aun así, en caso utilizar el asfalto modificado mediante el método seco en carretera se estarían reciclando una cantidad considerablemente alta de botellas de plástico PET. En donde, como se mostró anteriormente, se realizó el cálculo y se estimó que para un carril de 3,5 metros de ancho y colocando una capa de 5 cm de espesor, se podrían reciclar aproximadamente 150 000 botellas de PET de 330 ml. (Monturiol, 2019).

Por lo tanto, en el caso de una carretera de dos carriles por sentido con una carpeta de 5 cm de altura se estarían utilizando alrededor de 600 000 botellas de PET de 330 ml por kilómetro lo cual significaría una cantidad bastante elevada de plástico al que se le estaría dando un uso alternativo, ayudando así a reducir la contaminación y alterando las propiedades de la mezcla asfáltica al hacerla más rígida. (Monturiol, 2019).

Se debe de tener en consideración que el uso de materiales de desecho como agente modificador de pavimentos es una opción principalmente para reducir la contaminación. Difícilmente un material de desecho va a tener un efecto como el de los aditivos creados con el fin específico de mejorar alguna característica ya sea del asfalto, agregado o la mezcla. (Monturiol, 2019).

Además, los ensayos y parámetros de aceptación utilizados son los conocidos para materiales convencionales por lo cual no necesariamente sean los mejores para materiales de desecho. Por lo cual factores como el porcentaje de vacíos óptimo puede que sea

distinto para una mezcla modificada en comparación con una sin modificar. (Monturiol, 2019).

El hecho de que la modificación implique un proceso adicional en la elaboración de mezclas asfálticas hace que la idea sea poco atractiva para las empresas por lo cual, el uso de materiales de desecho sólo va a ser posible si existe una iniciativa a nivel gubernamental, de lo contrario no va a ser rentable, aunque implique un beneficio ambiental (Monturiol, 2019).

Entonces, no solamente se trata de rigidizar las carpetas asfálticas utilizando mezclas modificadas con PET, sino también existe una fuerte dosis de justificación ambiental para el desarrollo de la investigación.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

H: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET, cumple con los valores de las características físicas y mecánicas establecidas por las normas correspondientes para la mezcla asfáltica convencional”.

2.5.2. Hipótesis específicas

H1: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica tradicional”.

H2: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de deformaciones permanentes establecidas por las normas para la mezcla asfáltica tradicional.

H3: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de soporte de carga establecidas por las normas para la mezcla asfáltica tradicional

2.6. Variables.

2.6.1. Identificación de variables.

- **Variable independiente X:**

X: Mezcla asfáltica reforzada con plástico PET reciclado fundido.

- **Variable dependiente Y:**

Y: Desplazamientos y deformaciones del concreto asfáltico

2.6.2. Definición conceptual y operacional de las variables.

- **Variable independiente X:** mezcla asfáltica reforzada con plástico PET reciclado fundido.

“Mezcla asfáltica en caliente elaborada con cemento asfáltico pen 60/70, arena fina, más filler, a la cual se le añade plástico PET reciclado fundido, debido a lo cual mejora sus propiedades físicas y mecánicas. La evaluación de los indicadores de medición de dichas características tanto en la mezcla convencional como en la mezcla modificada con PET (grupo experimental) se efectúan mediante el método Marshall, de acuerdo a la norma MTC E 504”.

- **Variable dependiente Y:** Propiedades físicas y mecánicas.

“La modificación de la mezcla asfáltica como consecuencia de la adición de plástico PET reciclado fundido influye en su mejora de características físicas y mecánicas, tales como, la resistencia a la deformación plástica dinámica, la cual es medida mediante el indicador del nivel de deformación o fluencia, determinada mediante el ensayo Marshall realizado tanto a la mezcla convencional como a la modificada”.

2.6.3. Operacionalización de variables.

Tabla 10. Operacionalización de Variables

Variables	Indicadores genéricos	Instrumentos
Variable independiente X: Mezcla asfáltica reforzada con plástico PET reciclado fundido.	Dosificación. Rigidez	Ensayo Marshall (Índice de Rigidez)
Variable dependiente Y: Propiedades físicas y mecánicas	Resistencia a la deformación plástica dinámica: Desplazamientos y deformaciones	Ensayo Marshall (Fluencia)

Capítulo III. Metodología.

3.1. Tipo y Diseño de Investigación.

3.1.1. Tipo de Investigación

Es experimental porque para elaborar mezcla asfáltica en caliente, se utilizará como parte del agregado fino distintas proporciones de plástico PET reciclado (adicionará) para modificar la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico PEN 60/70 (variable independiente que se manipulará deliberadamente) para ver su efecto y relación (evaluar influencia en ausencia y en presencia) con las propiedades físicas y mecánicas del concreto asfáltico (variable dependiente). Sin embargo, en cuanto corresponde efectuar el estudio preliminar de las propiedades del agregado grueso y fino y del concreto asfáltico en ausencia del plástico PET, en esta primera parte la investigación es descriptiva, porque se analizarán las propiedades físicas de los agregados grueso y fino procesados y la arenas y se utilizará el cemento asfáltico PEN 60/70 y filler como se expenden en el mercado. Sampieri (2006) indica que la investigación experimental requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.

En el desarrollo de la investigación, se realizará el diseño Marshall con el plástico PET reciclado añadido como agregado fino (PET no fundido), manteniendo las características del diseño de la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico PEN 60/70. Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto y agregados, se buscó otro diseño añadiendo al agregado porcentajes de PET y considerando el mismo porcentaje óptimo de asfalto. Luego con los resultados del ensayo Marshall del diseño de mezclas del grupo experimental se efectuó la comparación respectiva con el grupo de control.

Así mismo, esta investigación es aplicada y cuantitativa. Es aplicada porque los resultados obtenidos servirán para la solución a problemas relacionados a los materiales usados en la pavimentación de vías de bajo tránsito, mitigando la contaminación ambiental. Es cuantitativa porque se estudia las variables y sus indicadores objetivamente midiendo y registrando sus valores respuesta en los instrumentos de recolección de datos (guías de observación).

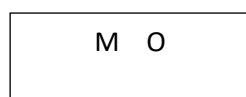
Nivel: Explicativa: pretende explicar la relación causa-efecto entre las dos variables.

La hipótesis debe ser demostrable por medios matemáticos y estadísticos.

3.1.2. Diseño de Investigación

Cuasi -Experimental.

Esquema:



Donde:

M: Muestra

O: Observaciones

Realizar la observación a cada variable en forma independiente y describirlas (medir cada variable independientemente).

3.2. Población y Muestra.

3.2.1. Población

La Población está conformada por el concreto asfáltico producido con agregado PET. Debido a que la presente investigación es del tipo

experimental y que las muestras son elaboradas en Laboratorio. Para estos casos tomamos el Laboratorio del Ministerio de Transportes – Dirección Regional de Loreto, y el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad Científica del Perú.

3.2.2. Muestra

La muestra estará conformada por un metro cúbico de agregados, que incluye agregado grueso, agregado fino y arena blanca natural de la cantera “La Rinconada”, del distrito San Juan Bautista, para su uso en elaboración de la mezcla.

El número de muestras propuestas responde a lo indicado para los ensayos establecidos en cada normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Estará conformada por las 40 briquetas de ensayo Marshall, de las cuales se realizó 20 briquetas patrón y 20 briquetas añadiendo al agregado fino PET reciclado.

Se realizará esta cantidad de briquetas porque responde a lo indicado en la normativa del MTC. Además, será beneficiosa para realizar nuestro gráfico de Esfuerzo vs Deformación (Método Marshall), así determinar el contenido óptimo del plástico reciclado PET fundido.

3.3. Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de Datos.

3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos.

Las técnicas: Para desarrollar la presente investigación se ha utilizado las siguientes técnicas:

Una de las principales técnicas de recolección de datos es la observación. Los procedimientos que se emplearán para la toma de datos corresponden a ensayos de laboratorio. Cada ensayo cuenta con sus respectivos instrumentos de medición los cuales se encuentran

normados tanto a nivel nacional (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) como a nivel internacional (AASHTO).

Los ensayos para evaluar las variables, se realizarán en el laboratorio Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Con respecto a ello, se presenta en los anexos el certificado emitido por el Especialista y encargado del laboratorio respectivo, quien garantiza la validez de los resultados obtenidos de los ensayos mencionados, así como la confiabilidad tanto de los equipos como de los procedimientos empleados, los cual está basado en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC.

3.3.2. Instrumentos de Recolección de datos

Se utilizará los instrumentos de laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la UCP y otros formatos del Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC.

3.3.3. Procedimiento de recolección de datos

Los datos serán recolectados mediante: tablas, gráficos y porcentajes a fin de verificar las diferencias o similitudes entre el grupo de control con respecto al grupo experimental.

Ensayos

Ensayo de agregado grueso.

Se aplicará lo previsto en El Manual de Carreteras: “Especificaciones Generales para la Construcción DG - 2013 del MTC, el cual presenta una información detallada acerca de los usos granulométricos para una carpeta asfáltica correspondiente a una mezcla asfáltica en caliente, en función del tamaño máximo nominal para una mezcla asfáltica normal “MAC”. En la presente investigación se usará un tamaño máximo nominal de 3/4 pulgada, por lo que se elegirá de la tabla siguiente el MAC-2.

Tabla 11. Parámetros de agregados para mezcla asfáltica.

Tamiz	Porcentaje 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 µm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 µm (N° 200)	14 - 27	4 - 8	5 - 10

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para mezclas asfálticas. Tabla 423-03.

Técnicas: La técnica que se empleará en la recolección de los datos es la observación, tanto para la toma de muestras y la lectura de los resultados de los ensayos de laboratorio.

3.4. Instrumentos de recolección de datos

Instrumentos: Lista de cotejo, formatos y cuadros de datos estadísticos.

Los instrumentos de recolección de datos serán los utilizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de materiales de la UCP Sede Iquitos.

3.5. Procedimientos de recolección de datos

- Implementar la investigación con los insumos e instrumentos adecuados
- Elaboración del instrumento de recolección de datos.
- Recoger la información.
- Procesamiento de la información.
- Análisis e interpretación de la información.
- Elaboración del informe.
- Presentación del informe.
- Sustentación del informe final de tesis

Tabla 12. Breve Descripción de ensayos a realizar en agregados y PET

Ensayo	Norma Requisito de altitud (msnm) ≤ 3000	
Ensayos de agregado grueso		
Granulometría de agregados grueso y fino (Huso granulométrico MAC – 2)	Norma MAC - 2	---
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx
Abrasión “Los Ángeles”	MTC E 207	40% máx
Adherencia	MTC E 517	+ 95
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx
Caras fracturadas (% de una cara; % de dos o más caras fracturadas)	MTC E 210	85/50
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx
Absorción * (g sss; g bulk; gs)	MTC E 206	1% máx
Ensayos de agregado fino		
Equivalente de arena	MTC E 114	60
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30

Índice de Plasticidad (Malla N° 40)	MTC E 111	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	---
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 mín
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx
Absorción **	MTC E 205	0.5% máx
Gravedad específica de agregado fino natural (g bulk; g bulk SSD; g aparente)	RICE D 2041	
Ensayos de PET		
Granulometría	Norma MAC - 2	
Opcionalmente se podría efectuar el Análisis de la viscosidad del plástico (Carta Viscosidad Vs Temperatura del plástico PET)		T óptima 284°C, con una viscosidad 1080 m.pa.sec

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013 (Tabla 423.01), (Tabla 423.02).

*: Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La notación 85/50 indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos o más caras fracturadas.

** : Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, subsección 430.02

En la presente investigación la gradación de los materiales se realizará mediante el tamizado; y, se propone la combinación de diámetros en la siguiente tabla N°12 y figura N° 5.

Tabla 13. Granulometría de agregados.

Tamiz	Abertura (mm)	% Pasante	MAC - 2	
		Combinación propuesta	Lím. Inferior	Lím. Superior
1 1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.700	89.90	80.00	100.00
3/8"	9.525	81.34	70.00	88.00
N° 4	4.760	56.33	51.00	68.00
N° 8	2.380	47.44	---	---
N° 10	2.000	46.15	38.00	52.00
N° 16	1.190	42.57	---	---
N° 20	0.840	40.24	---	---
N° 30	0.590	33.71	---	---
N° 40	0.426	25.09	17.00	28.00
N° 50	0.297	18.38	---	---
N° 60	0.250	15.30	---	---
N° 80	0.177	11.98	8.00	17.00
N° 100	0.149	10.29	---	---
N° 200	0.074	4.42	4.00	8.00
F	0.000	0.00	---	---

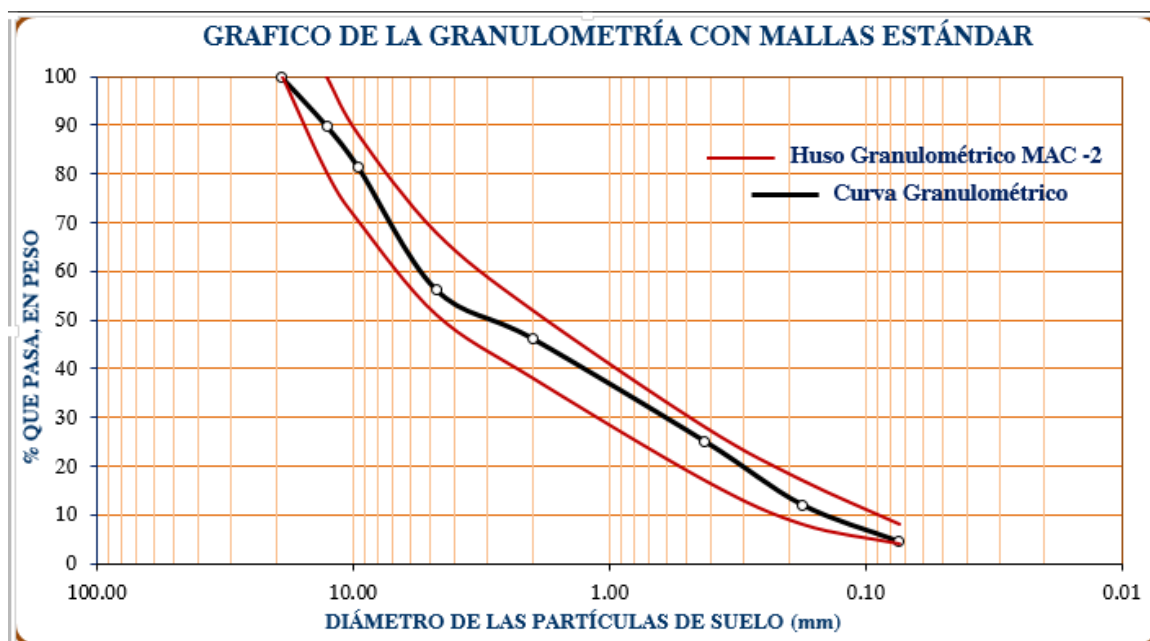


Imagen 05. Curva granulométrica de gradación de agregados.

Ensayo de Durabilidad (al sulfato de magnesio)

Este ensayo servirá para determinar la resistencia del agregado en cuanto a sus propiedades físicas y de apariencia.

A continuación, mostramos la tabla N° 13, donde se muestra el rango de durabilidad al sulfato de magnesio especificado por la norma MTC según altitud donde se empleará el agregado como componente de la mezcla asfáltica.

Tabla 14. Durabilidad al sulfato de magnesio

Ensayo	Norma	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Durabilidad (al Sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx	15% máx

Abrasión Los Ángeles

Este ensayo es para determinar el desgaste de los agregados y la capacidad que tienen para resistir esfuerzos. Se utilizará 12 esferas.

A continuación, mostramos la tabla N° 14, donde se muestra el rango de desgaste especificado por la norma MTC según altitud donde se empleará el agregado como componente de la mezcla asfáltica.

Tabla 15. Ensayo de Abrasión de Los Ángeles

Ensayo	Norma	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Abrasión de Los Ángeles	MTC E 207	18% máx	15% máx

Partículas chatas y alargadas

Es para determinar la cantidad de partículas delgadas y alargadas que tiene el agregado grueso. Estas partículas en exceso no permiten una compactación adecuada de la mezcla asfáltica.

Tabla 16. Ensayo de Porcentaje de partículas chatas y alargadas

Ensayo	Norma	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx	10% máx

Caras Fracturadas

A través de este ensayo se determina las caras de fractura que tiene el agregado grueso. A más caras fracturas mejor adherencia de nuestra mezcla ya que las caras fracturadas son más rugosas y favorece a la adherencia.

Tabla 17. Ensayo de caras fracturadas

Ensayo	Norma	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70

Ensayo de Absorción: Gravedad específica y absorción de agregado grueso.

Tabla 18. Ensayo de Absorción.

Ensayo	Norma	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Absorción	MTC E 206	1.0 % máx	1.0 % máx

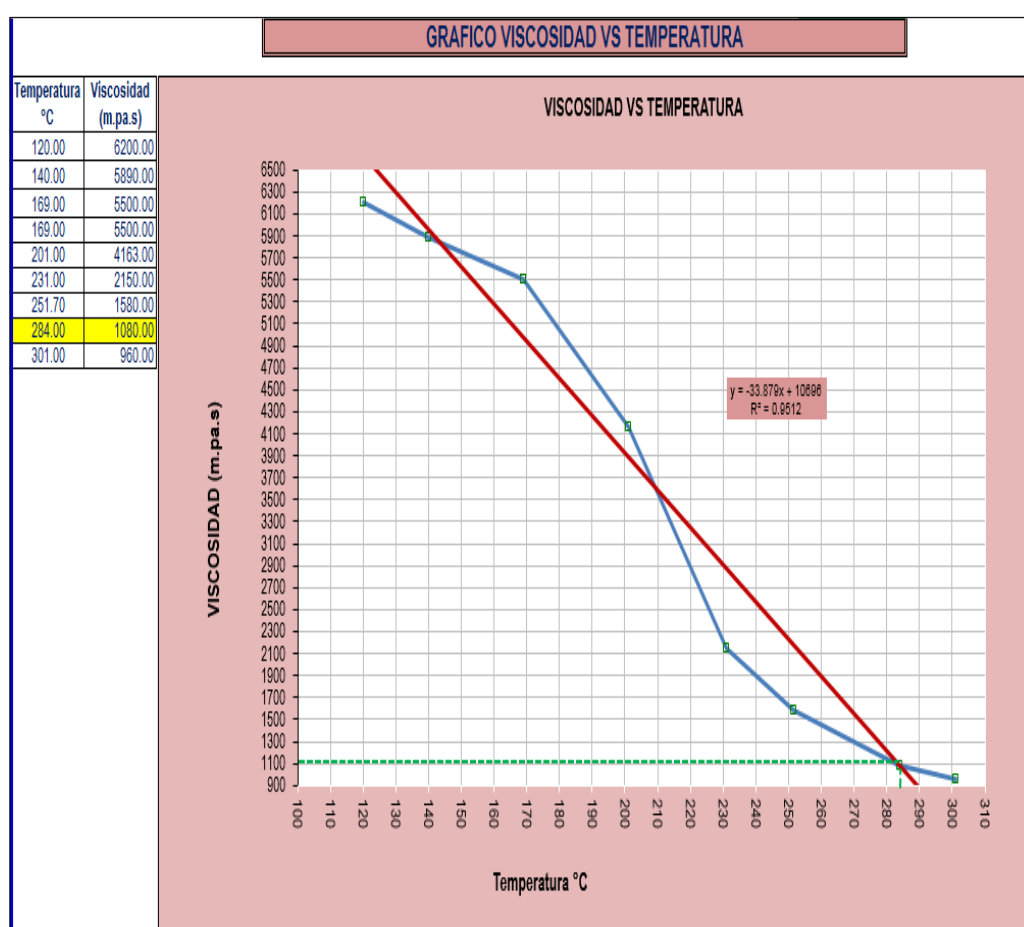


Imagen 06. Carta viscosidad vs Temperatura del plástico PET.

Ensayos Marshall a la mezcla asfáltica Tradicional.

Se procede a realizar el diseño de mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall.

El agregado grueso chancado procederá de la trituración de material pétreo de las canteras de la jurisdicción de la municipalidad distrital de Papaplaya – jurisdicción de la provincia de San Martín, siguientes: Pumahuashi, Bajo San Juan, Papacocha o Manguay; el que procesado es trasladado desde Yurimaguas a la ciudad de Iquitos por el distribuidor “Transportes Karina”.

A continuación, se muestran los materiales utilizados y las dosificaciones de arranque para el ensayo.

Materiales del Diseño de MAC-2.

SE utilizarán en los porcentajes apropiados según dosificación y para la elaboración del diseño se cumplirán con los ensayos y mediciones correspondientes para determinar los siguientes valores que se necesitan:

- % de C. A. en peso de la mezcla total
- % de agregado grueso de 1/2" en peso de la mezcla
- % de agregado grueso N° 4 en peso de la mezcla
- % de agregado fino triturado en peso de la mezcla (opcional)
- % de agregado fino natural en peso de la mezcla (opcional)
- % de filler en peso de la mezcla
- Peso específico de cemento asfáltico aparente
- Peso específico bulk seco del agregado grueso de 1/2 “
- Peso específico bulk seco del agregado grueso de N° 4“
- Peso específico bulk seco del agregado fino triturado (opcional).
- Peso específico bulk seco del agregado fino natural
- Peso específico aparente del filler
- Altura promedio de la briqueta (cm)
- Peso de la briqueta al aire (g)
- Peso de la briqueta saturada superficialmente seco al aire (g)
- Peso de la briqueta saturada superficialmente seco en agua (g)
- Peso del agua absorbida (g)

- Volumen de la briqueta saturada superficialmente seco (cm³)
- Porcentaje de absorción (%)
- Peso específico bulk de la briqueta (gr/cm³)
- Peso específico máximo (RICE) ASTM D 2041
- Porcentaje de vacíos (%)
- Peso específico bulk del agregado total (gr/cm³)
- V.M.A. (%)
- Porcentaje de vacíos llenados con C.A. (%)
- Peso específico efectivo del agregado total
- Asfalto absorbido por el agregado total (%)
- Porcentaje de asfalto efectivo (%)
- Flujo (mm)
- Estabilidad sin corregir (kg)
- Factor de estabilidad
- Estabilidad corregida (kg)
- Relación Estabilidad / Flujo (kg/cm)

Para determinar del contenido óptimo de asfalto se seguirá el siguiente procedimiento, el que se presenta con datos figurados y sólo para ser tomado como ejemplo:

a. En la curva descendente de Vacíos totales (V_v) –vs- % C.A. se selecciona el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al punto medio de las especificaciones de la norma (3-5), siendo el valor de 4%. Ello nos dio el valor de 5.35 % C.A.

b. En la curva de Estabilidad –vs-% C.A., se selecciona el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al máximo valor de Estabilidad, siendo el valor 5.44 % C.A.

c. En la curva de Peso Específico –vs- %C.A., se selecciona el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al máximo valor de densidad, siendo el valor 5.57 % C.A.

Finalmente se promedian aritméticamente los tres valores obtenidos siendo ello el “porcentaje optimo probable”, para este valor se leen los correspondientes valores para cada una de las seis propiedades evaluadas en el diseño Marshall, los cuales deberán cumplir con los límites mínimos y máximos, de no ser así se harán ajustes o cambiar el diseño completo.

Ensayos Marshall a la mezcla asfáltica modificada con plástico PET fundido.

El material plástico PET triturado de granulometría promedio tamaño hojuela, proviene del reciclado de botellas plásticas recuperadas en la ciudad de Iquitos (procesado: triturado, lavado, descontaminado), por la empresa “Tecnología Ecosostenible del Perú EIRL - Ichick Kabil”.

A continuación, se muestran los materiales utilizados y las dosificaciones correspondientes para el ensayo.

Tabla 19. Materiales del Diseño de MAC-2.

Materiales	Características	Procedencia
Agregados pétreos	Grava triturada < 1/2 “	Canteras Papaplaya-San Martín (distribuidor: Transportes Karina)
	Grava triturada < 1/2 “	Canteras Papaplaya-San Martín (distribuidor: Transportes Karina)
	Arena natural	Cantera de arena (Km 17 carretera Iquitos – Nauta)
Plástico PET	Polietileno tereftalato de granulometría promedio tamaño Ojuela (envases de bebidas).	Procesado por la empresa “Tecnología Ecosostenible del

triturada		Perú EIRL - Ichick Kabil”.
-----------	--	----------------------------

3.6. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de la información se realizará de forma mecánica/computarizada.

- Para la recopilación inicial de la Tesis se usarán los paquetes básicos de escritorio de Microsoft, (Word, Excel, PPT, Etc.), para el desarrollo regular de digitación de información.
- Para procesar la información del desarrollo de los ensayos de suelos que se realizarán en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Mecánica de Materiales de La UCP, se usará el paquete de Microsoft, EXCEL, para realizar algunos cuadros y base de datos, así mismo, Word, para elaboración de informes, y adjunto de información competente al proyecto.
- Para el análisis e interpretación de los datos, y análisis estadísticos, se empleará la estadística descriptiva (Programa SPSS), conformada por las frecuencias, promedio, porcentajes, desviación estándar y varianza y el uso del paquete Microsoft, EXCEL.

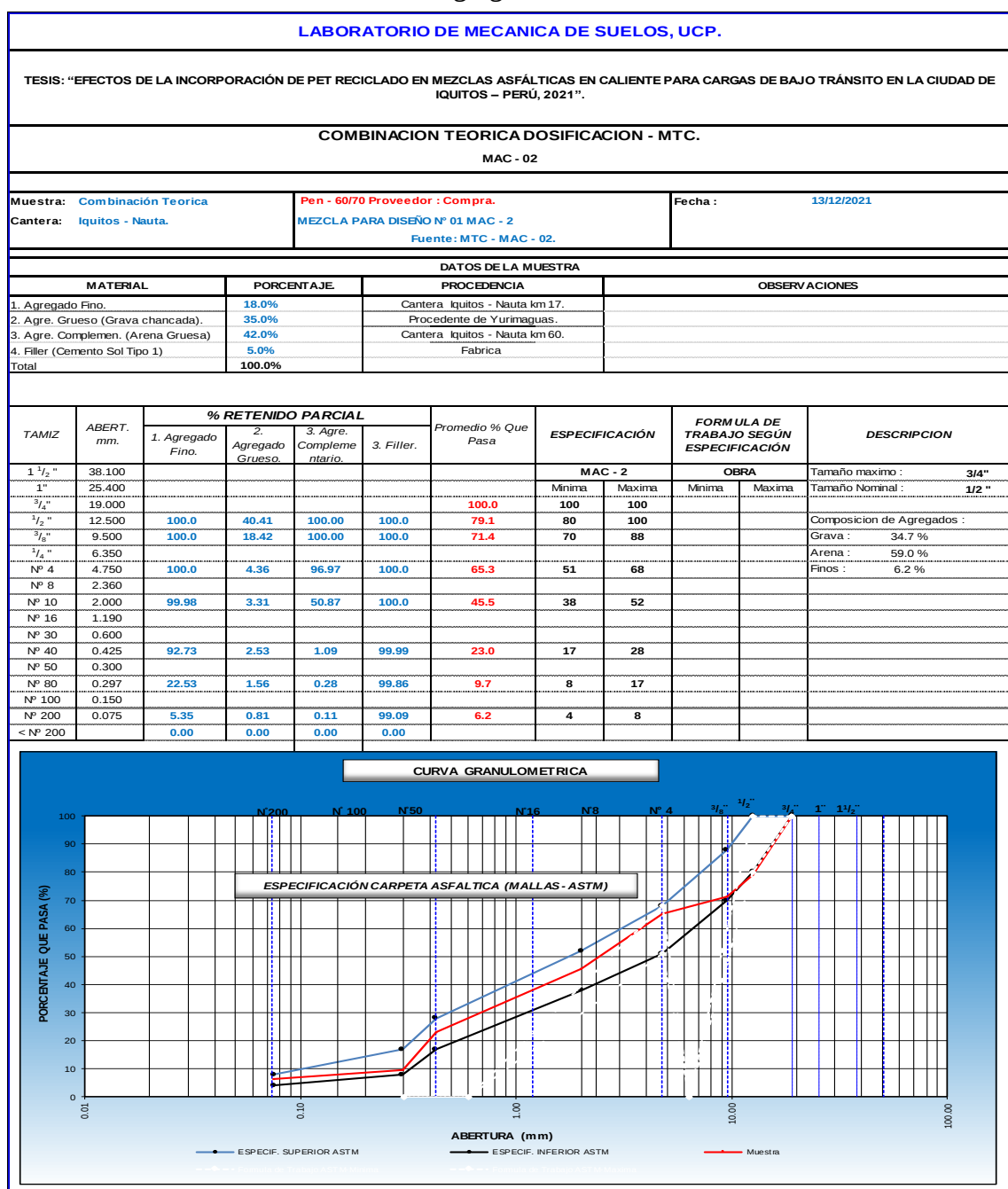
CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO – (MTC E-504).

4.1.1. DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS – (MAC -02).

En la siguiente imagen N°07 se observará la tabla y gráfico de las dosificaciones de los agregados a emplear en el concreto asfaltico.

Tabla N°20. Dosificación de agregados de acuerdo al MAC - 02.



4.1.2. ENSAYO RICE DE CADA MUESTRA CON RESPECTO AL PORCENTAJE DE PEN – (MAC -02).

En la siguiente imagen N°08 se observará la tabla y gráfico del Ensayo Rice – (MTC E - 508), donde se obtiene la gravedad específica de cada ensayo con diferente porcentaje de PEN 60/70.

Tabla N°21. Resultados de Ensayos Rice – (MTC E - 508).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.										
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".										
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, ABSORCIÓN y ASFALTO EFECTIVO (MTC E-508 / ASTM D-2041 / AASHTO T-209)										
Muestra: Ensayo Marshall				Pen - 60/70 Proveedor : Compra.				Fecha : 13/12/2021		
Cantera: Iquitos - Nauta.				MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2						
1	Peso del frasco + el agua						3171.0	3171.0	3171.0	3171.0
2	Peso de la mezcla						1501.0	1508.3	1531.0	1603.1
3	Peso del frasco + mezcla + agua						4061.0	4063.0	4072.0	4111.0
4	Volumen de la mezcla, (1+2-3)						611.0	616.3	630.0	663.1
5	Gravedad especifica de la mezcla, (2/4)						2.457	2.447	2.430	2.418
6	Porcentaje de Asfalto total en la mezcla						5.0	5.5	6.0	6.5
Gravedad Especifica V.S Cimento Asfaltico (%) 2.434 Gr/Cm3 $y = -0.0268x + 2.5921$ GRAVEDAD ESPECIFICA (Rice Gr/Cm3) CEMENTO ASFALTICO (%)										
OBSERVACIONES: COMBINACION DE AGREGDOS.										
1. Agregado Fino.				18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.					
2. Agre. Grueso (Grava chancada).				35.0%	Procedente de Yurimaguas.					
3. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)				42.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.					
4. Filler (Cemento Sol Tipo 1)				5.0%	Fabrica					
Total				100.0%						

4.1.3. ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 5%, 5.5%, 6% Y 6.5% DE PEN 60/70.

En las siguientes imágenes se podrá observar los resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de asfalto empleado.

Tabla N°22. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 5% de PEN 60/70.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.										
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".										
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.										
MAC - 02										
Muestra: Combinación Teórica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.				Fecha : 13/12/2021			
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2							
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 5% DE PEN 60/70.										
	PROBETAS						1	2	3	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.00				
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	17.10	17.10	17.10	17.10				
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	33.25	33.25	33.25	33.25				
4	% De Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	39.90	39.90	39.90	39.90				
5	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.75	4.75	4.75	4.75				
6	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021				
7	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592				
8	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609				
9	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541				
10	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627				
11	Peso Especifico Bulk de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522				
12	Peso Especifico Aparente de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639				
13	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.12	3.12	3.12	3.12				
14	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.30	6.36	6.17	6.28				
15	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1191.89	1190.67	1176.34	1186.30				
16	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1197.86	1198.01	1183.59	1193.15				
17	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	691.29	688.13	679.85	686.42				
18	Volumen de la Probeta	cc	506.57	509.88	503.74	506.73				
19	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.35	2.34	2.34	2.341				
20	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.46	2.46	2.46	2.46				
21	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.42	2.42	2.42	2.42				
22	% Vacios	%	4.24	4.96	4.96	4.72				
23	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.57	2.57	2.57	2.57				
24	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.65	2.65	2.65	2.65				
25	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.61	2.61	2.61	2.61				
26	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.64	0.64	0.64	0.64				
27	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	87.12	86.46	86.46	86.68				
28	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.64	8.58	8.58	8.60				
29	% de vacios del Agregado Mineral	%	12.88	13.54	13.54	13.32				
30	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	4.39	4.39	4.39	4.39				
31	Relacion Betun Vacios	%	67.10	63.38	63.38	64.62				
32	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1206.80	1199.20	1322.00	1242.67				
33	Factor de Estabilidad		1.04	1.00	1.04	0.00				
34	Estabilidad Corregida	kgf	1255.07	1199.20	1374.88	1276.38				
35	Lectura del Flexímetro (0.01")	pulg.	11.00	12.00	12.00	11.67				
36	Fluencia	mm.	2.79	3.05	3.05	2.96				
37	Factor de Rigidez	Kgf/cm	4492.03	3934.38	4510.76	4312.39				
OBSERVACIONES :										
1. Agregado Fino.		18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.							
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		35.0%	Procedente de Yurimaguas.							
3. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		42.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.							
4. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%	Fabrica							
Total		100.0%								

Tabla N°23. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 5.5% de PEN 60/70.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.										
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".										
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.										
MAC - 02										
Muestra: Combinación Teorica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 13/12/2021		
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2							
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 5.5% DE PEN 60/70.										
	PROBETAS						1	2	3	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.50	5.50	5.50	5.50				
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	17.01	17.01	17.01	17.01				
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	33.08	33.08	33.08	33.08				
4	% De Agregado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	39.69	39.69	39.69	39.69				
5	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.73	4.73	4.73	4.73				
6	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.02				
7	Peso Especifico Bulk de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.59				
8	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.61				
9	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.54				
10	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.63				
11	Peso Especifico Bulk de Agregado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.52				
12	Peso Especifico Aparente de Agregado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.64				
13	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.12	3.12	3.12	3.12				
14	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.12	6.21	6.29	6.20				
15	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1186.97	1196.64	1189.36	1190.99				
16	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1190.60	1200.65	1193.00	1194.75				
17	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	692.98	696.73	694.38	694.70				
18	Volumen de la Probeta	cc	497.62	503.92	498.62	500.05				
19	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.39	2.37	2.39	2.38				
20	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.45	2.45	2.45	2.45				
21	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.40	2.40	2.40	2.40				
22	% Vacios	%	2.52	2.96	2.52	2.67				
23	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.57	2.57	2.57	2.57				
24	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.65	2.65	2.65	2.65				
25	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.61	2.61	2.61	2.61				
26	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.64	0.64	0.64	0.64				
27	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	87.85	87.46	87.85	87.72				
28	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	9.63	9.58	9.63	9.61				
29	% de vacios del Agregado Mineral	%	12.15	12.54	12.15	12.28				
30	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	4.89	4.89	4.89	4.89				
31	Relacion Betun Vacios	%	79.24	76.42	79.24	78.30				
33	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1371.60	1332.40	1515.99	1406.66				
34	Factor de Estabilidad		1.04	1.04	1.04	0.00				
35	Estabilidad Corregida	kgf	1426.46	1385.70	1576.63	1462.93				
36	Lectura del Fleximetro (0.01")	pulg.	13.00	14.00	13.00	13.33				
37	Fluencia	mm.	3.30	3.56	3.30	3.39				
38	Factor de Rigidez	Kgf/cm	4320.00	3896.78	4774.78	4330.52				
OBSERVACIONES :										
1. Agregado Fino.			18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.						
2. Agre. Grueso (Grava chancada).			35.0%	Procedente de Yurimaguas.						
3. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)			42.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.						
4. Filler (Cemento Sol Tipo 1)			5.0%	Fabrica						
Total			100.0%							

Tabla N°24. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 6 % de PEN 60/70.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.												
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".												
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.												
MAC - 02												
Muestra: Combinación Teórica				Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 13/12/2021			
Cantera: Iquitos - Nauta.				MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2								
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 6% DE PEN 60/70.												
	PROBETAS							1	2	3	Prom.	
1	C.A. En peso de la mezcla						%	6.00	6.00	6.00	6.00	
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)						%	16.92	16.92	16.92	16.92	
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)						%	32.90	32.90	32.90	32.90	
4	% De Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)						%	39.48	39.48	39.48	39.48	
5	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)						%	4.70	4.70	4.70	4.70	
6	Peso Especifico Aparente del C.A.						gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.02	
7	Peso Especifico Bulk de La Arena (Menor N° 4)						gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.59	
8	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)						gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.61	
9	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)						gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.54	
10	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)						gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.63	
11	Peso Especifico Bulk de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)						gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.52	
12	Peso Especifico Aparente de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)						gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.64	
13	Peso Especifico Aparente del Filler						gr/cc	3.12	3.12	3.12	3.12	
14	Altura Promedio de la Briqueta						cm	6.10	6.11	6.20	6.14	
15	Peso de la Briqueta al Aire						gr.	1189.32	1189.25	1193.23	1190.60	
16	Peso de la Probeta Saturada						gr.	1190.90	1192.95	1196.94	1193.60	
17	Peso de la Probeta en el Agua						gr.	694.07	694.39	696.70	695.05	
18	Volumen de la Probeta						cc	496.83	498.56	500.24	498.54	
19	Peso Especifico Bulk de la Briqueta						gr/cc	2.3938	2.3854	2.3853	2.39	
20	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice						gr/cc	2.4300	2.4300	2.4300	2.43	
21	Máxima Densidad Teórica						gr/cc	2.39	2.39	2.39	2.39	
22	% Vacios						%	1.49	1.8366	1.8394	1.72	
23	Peso Especifico Bulk del Agregado Total						gr/cc	2.57	2.57	2.57	2.57	
24	Peso Especifico Aparente del Agregado Total						gr/cc	2.65	2.65	2.65	2.65	
25	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total						gr/cc	2.61	2.61	2.61	2.61	
26	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco						%	0.64	0.64	0.64	0.64	
27	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta						%	87.70	87.39	87.39	87.49	
28	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta						%	10.81	10.77	10.77	10.79	
29	% de vacios del Agregado Mineral						%	12.30	12.61	12.61	12.51	
30	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla						%	5.40	5.40	5.40	5.40	
31	Relacion Betun Vacios						%	87.89	85.43	85.42	86.25	
33	Estabilidad Sin Corregir						kgf	997.70	1088.40	1158.35	1081.48	
34	Factor de Estabilidad							1.04	1.04	1.04	0.00	
35	Estabilidad Corregida						kgf	1037.61	1131.94	1204.68	1124.74	
36	Lectura del Flexímetro (0.01")						pulg.	16.00	17.00	17.00	16.67	
37	Fluencia						mm.	4.06	4.32	4.32	4.23	
38	Factor de Rigidez						Kgf/cm	2553.17	2621.44	2789.90	2654.84	
OBSERVACIONES :												
1. Agregado Fino.				18.0%				Cantera Iquitos - Nauta km 17.				
2. Agre. Grueso (Grava chancada).				35.0%				Procedente de Yurimaguas.				
3. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)				42.0%				Cantera Iquitos - Nauta km 60.				
4. Filler (Cemento Sol Tipo 1)				5.0%				Fabrica				
Total				100.0%								

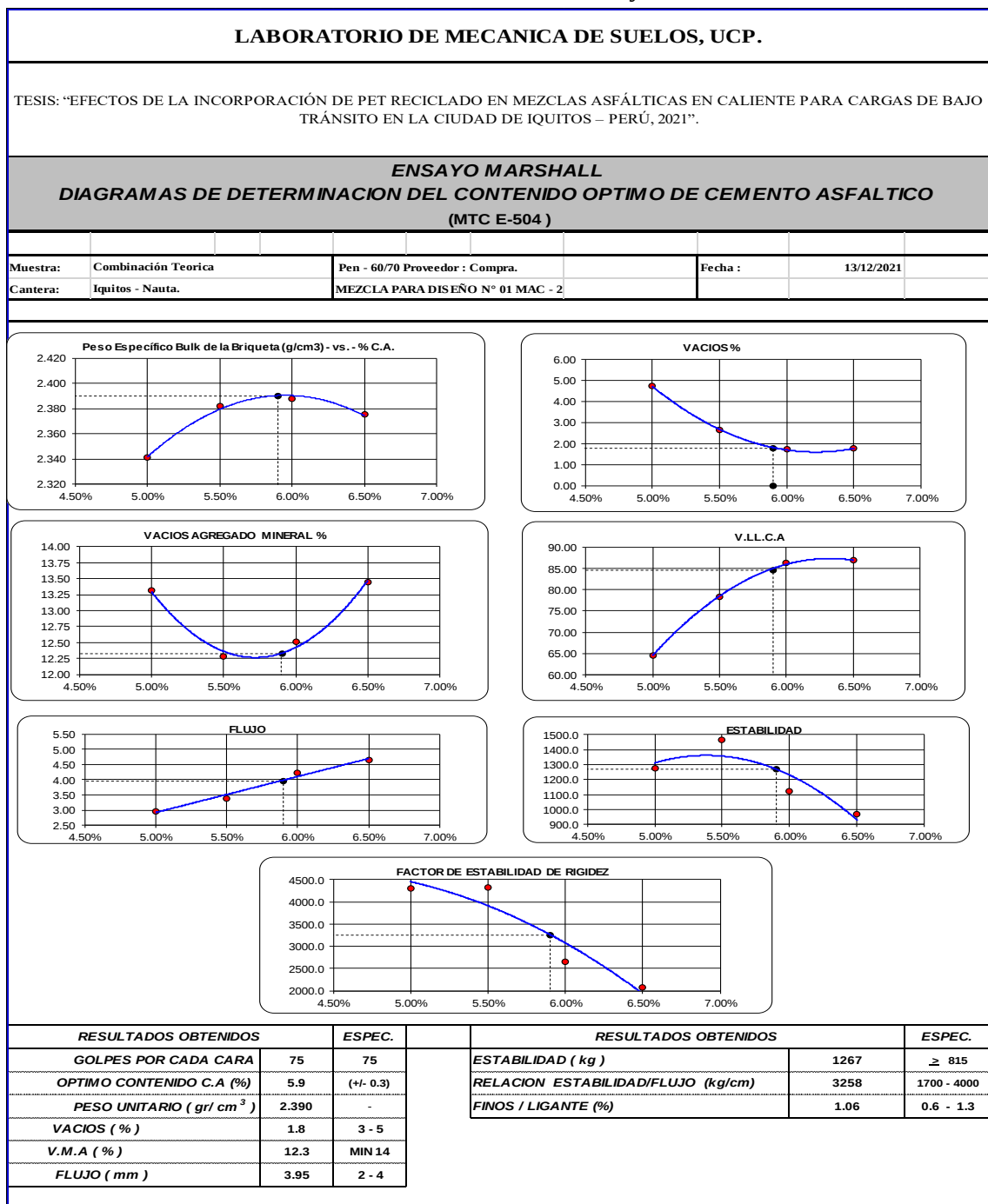
Tabla N°25. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 6.5 % de PEN 60/70.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.										
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".										
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.										
MAC - 02										
Muestra: Combinación Teorica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 13/12/2021		
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2							
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 6.5% DE PEN 60/70.										
	PROBETAS						1	2	3	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla					%	6.50	6.50	6.50	6.50
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)					%	16.83	16.83	16.83	16.83
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)					%	32.73	32.73	32.73	32.73
4	% De Agregado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)					%	39.27	39.27	39.27	39.27
5	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)					%	4.68	4.68	4.68	4.68
6	Peso Especifico Aparente del C.A.					gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.02
7	Peso Especifico Bulk de La Arena (Menor N° 4)					gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.59
8	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)					gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.61
9	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)					gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.54
10	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)					gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.63
11	Peso Especifico Bulk de Agregado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)					gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.52
12	Peso Especifico Aparente de Agregado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)					gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.64
13	Peso Especifico Aparente del Filler					gr/cc	3.12	3.12	3.12	3.12
14	Altura Promedio de la Briqueta					cm	6.14	6.01	6.17	6.10
15	Peso de la Briqueta al Aire					gr.	1181.73	1165.12	1187.77	1178.21
16	Peso de la Probeta Saturada					gr.	1184.78	1166.33	1189.00	1180.04
17	Peso de la Probeta en el Agua					gr.	684.93	676.96	690.10	684.00
18	Volumen de la Probeta					cc	499.85	489.37	498.90	496.04
19	Peso Especifico Bulk de la Briqueta					gr/cc	2.36	2.38	2.38	2.38
20	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice					gr/cc	2.42	2.42	2.42	2.42
21	Máxima Densidad Teórica					gr/cc	2.37	2.37	2.37	2.37
22	% Vacios					%	2.23	1.54	1.54	1.77
23	Peso Especifico Bulk del Agregado Total					gr/cc	2.57	2.57	2.57	2.57
24	Peso Especifico Aparente del Agregado Total					gr/cc	2.65	2.65	2.65	2.65
25	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total					gr/cc	2.61	2.61	2.61	2.61
26	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco					%	0.64	0.64	0.64	0.64
27	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta					%	86.15	86.76	86.76	86.56
28	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta					%	11.62	11.70	11.70	11.68
29	% de vacios del Agregado Mineral					%	13.85	13.24	13.24	13.44
30	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla					%	5.90	5.90	5.90	5.90
31	Relacion Betun Vacios					%	83.92	88.40	88.37	86.90
33	Estabilidad Sin Corregir					kgf	950.20	814.80	983.84	916.28
34	Factor de Estabilidad						1.04	1.09	1.04	0.00
35	Estabilidad Corregida					kgf	988.21	888.13	1023.19	966.51
36	Lectura del Flexímetro (0.01")					pulg.	18.00	18.00	19.00	18.33
37	Fluencia					mm.	4.57	4.57	4.83	4.66
38	Factor de Rigidez					Kgf/cm	2161.43	1942.55	2120.16	2074.71
OBSERVACIONES :										
1. Agregado Fino.		18.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 17.						
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		35.0%		Procedente de Yurimaguas.						
3. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		42.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 60.						
4. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%		Fabrica						
Total		100.0%								

4.1.4. GRAFICOS DEL ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) CON RESPECTO A LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO.

En la siguiente imagen N°13, se podrá observar los gráficos donde están las curvas realizadas con los resultados de los cuadros que están en las imágenes N°09, N°10, N°11 y N°12, resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de asfalto empleado.

Tabla N°26. Grafica de los resultados del ensayo Marshall.



4.2. INCORPORACION DEL PET AL CONCRETO ASFALTICO.

4.2.1. DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 4% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).

La siguiente imagen N°14, se puede observar las dosificaciones del primer ensayo con respecto al 4% de PET, y también la gráfica donde se puede observar que los porcentajes de los agregados si cumplen y están dentro del rango permitido por las normas MTC – MAC - 02.

Tabla N°27. Dosificación de agregados con el 4% de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.											
TESIS: PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".											
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.											
MAC - 02											
Muestra: Combinación Teórica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 13/12/2021			
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2								
Fuente: MTC - MAC - 02.											
DATOS DE LA MUESTRA											
MATERIAL		PORCENTAJE		PROCEDENCIA		OBSERVACIONES					
1. Agregado Fino.		18.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 17.							
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		34.0%		Procedente de Yurimaguas.							
3. Agregado PET.		4.0%		Empresa Procesadora de Plasticos.							
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		39.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 60.							
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%		Fabrica							
TOTAL.		100.0%									
TAMIZ	ABERT. mm.	% RETENIDO PARCIAL					Promedio % Que Pasa	ESPECIFICACIÓN		FORMULA DE TRABAJO SEGÚN ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION
		1. Agregado Fino.	2. Agregado Grueso.	3. Agregado PET.	4. Agre. Complementario.	5. Filler.		MAC - 2	OBRA		
1 1/2"	38.100							Minima	Maxima	Tamaño máximo : 3/4"	
1"	25.400							100	100	Tamaño Nominal : 1/2 "	
3/4"	19.000						100.0	80	100		
1/2"	12.500	100.0	40.41	100.00	100.00	100.0	79.7	80	100	Composicion de Agregados :	
3/8"	9.500	100.0	18.42	100.00	100.00	100.0	72.3	70	88	Grava : 34.2 %	
3/16"	6.350									Arena : 59.6 %	
Nº 4	4.750	100.0	4.36	87.90	96.97	100.0	65.8	51	68	Finos : 6.2 %	
Nº 8	2.360										
Nº 10	2.000	99.98	3.31	44.30	50.87	100.0	45.7	38	52		
Nº 16	1.190										
Nº 30	0.600										
Nº 40	0.425	92.73	2.53	23.61	1.09	99.99	23.9	17	28		
Nº 50	0.300										
Nº 80	0.297	22.53	1.56	3.70	0.28	99.86	9.8	8	17		
Nº 100	0.150										
Nº 200	0.075	5.35	0.81	0.00	0.11	99.09	6.2	4	8		
< Nº 200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					

CURVA GRANULOMETRICA

ESPECIFICACIÓN CARPETA ASFALTICA (MALLAS - ASTM)

</

4.2.2. ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 4%, PET.

En la siguiente imagen se podrá observar los resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de PET empleado en este caso 4%.

Tabla N°28. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 4 % de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.													
TESIS:													
"EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".													
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.													
MAC - 02													
Muestra: Combinación Teórica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 13/12/2021					
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2										
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 4% DE PET.													
	PROBETAS							1	2	3	4	5	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99
4	% De Pet Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
5	% De Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70	36.70
6	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71
7	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.02
8	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.59
9	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.61
10	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.54
11	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.63
12	Peso Especifico Bulk del Pet (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.42
13	Peso Especifico Aparente del Pet (Menor N° 4)	gr/cc	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.43
14	Peso Especifico Bulk de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.52
15	Peso Especifico Aparente de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.64
16	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.12
17	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.57	6.64	6.60	6.64	6.63	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62
18	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1180.27	1187.41	1190.70	1190.58	1190.03	1187.80	1187.80	1187.80	1187.80	1187.80	1187.80
19	Peso de la Briqueta Saturada	gr.	1189.67	1195.08	1196.66	1194.85	1193.80	1194.01	1194.01	1194.01	1194.01	1194.01	1194.01
20	Peso de la Briqueta en el Agua	gr.	661.86	666.90	666.80	664.58	665.19	665.07	665.07	665.07	665.07	665.07	665.07
21	Volumen de la Briqueta	cc	527.81	528.18	529.86	530.27	528.62	528.95	528.95	528.95	528.95	528.95	528.95
22	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.24	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
23	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.393	2.39
24	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
25	% Vacios	%	6.55	6.05	6.09	6.17	5.92	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16
26	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
27	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
28	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
29	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59	-18.59
30	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	84.61	85.06	85.03	84.96	85.18	84.97	84.97	84.97	84.97	84.97	84.97
31	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.83	8.88	8.88	8.87	8.89	8.87	8.87	8.87	8.87	8.87	8.87
32	% de vacios del Agregado Mineral	%	15.39	14.94	14.97	15.04	14.82	15.03	15.03	15.03	15.03	15.03	15.03
33	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39	23.39
34	Relacion Betun Vacios	%	57.41	59.46	59.30	58.96	60.02	59.03	59.03	59.03	59.03	59.03	59.03
35	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1284.70	1054.70	1145.60	1314.70	1321.70	1224.28	1224.28	1224.28	1224.28	1224.28	1224.28
36	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
37	Estabilidad Corregida	kgf	1233.31	1012.51	1099.78	1262.11	1268.83	1175.31	1175.31	1175.31	1175.31	1175.31	1175.31
38	Lectura del Fleximetro (0.01")	pulg.	17.00	17.00	19.00	19.00	22.00	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80
39	Fluencia	mm.	4.32	4.32	4.83	4.83	5.59	4.78	4.78	4.78	4.78	4.78	4.78
40	Factor de Rigidez	Kgf/cm	2856.21	2344.86	2278.86	2615.23	2270.64	2473.16	2473.16	2473.16	2473.16	2473.16	2473.16
OBSERVACIONES :													
1. Agregado Fino.			18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.									
2. Agre. Grueso (Grava chancada).			34.0%	Procedente de Yurimaguas.									
3. Agregado PET.			4.0%	Empresa Procesadora de Plasticos.									
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)			39.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.									
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)			5.0%	Fabrica									
TOTAL.			100.0%										

4.2.3. DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 5% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).

La siguiente imagen N°16, se puede observar las dosificaciones del primer ensayo con respecto al 5% de PET, y también la gráfica donde se puede observar que los porcentajes de los agregados si cumplen y están dentro del rango permitido por las normas MTC – MAC - 02.

Tabla N°29. Dosificación de agregados con el 5% de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.														
TESIS:“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ 2021”.														
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.														
MAC - 02														
Muestra: Combinación Teórica					Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 23/12/2021				
Cantera: Iquitos - Nauta.					MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2									
					Fuente: MTC - MAC - 02.									
DATOS DE LA MUESTRA														
MATERIAL		PORCENTAJE		PROCEDENCIA		OBSERVACIONES								
1. Agregado Fino.		18.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 17.										
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		34.0%		Procedente de Yurimaguas.										
3. Agregado PET.		5.0%		Empresa Procesadora de Plasticos.										
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		38.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 60.										
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%		Fabrica										
TOTAL.		100.0%												

4.2.4. ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 5%, PET.

En la siguiente imagen se podrá observar los resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de PET empleado en este caso 5%.

Tabla N°30. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 5 % de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.											
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".											
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.											
MAC - 02											
Muestra: Combinación Teórica		Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 23/12/2021				
Cantera: Iquitos - Nauta.		MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2									
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 5% DE PET.											
	PROBETAS		1	2	3	4	5	Prom.			
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90			
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94			
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99	31.99			
4	% De Pet Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71			
5	% De Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76			
6	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71			
7	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.02			
8	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.59			
9	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.61			
10	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.54			
11	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.63			
12	Peso Especifico Bulk del Pet (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.42			
13	Peso Especifico Aparente del Pet (Menor N° 4)	gr/cc	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.43			
14	Peso Especifico Bulk de Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.52			
15	Peso Especifico Aparente de Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.64			
16	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.12			
17	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.87	6.86	6.86	6.78	6.61	6.80			
18	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1190.65	1185.83	1186.80	1188.23	1188.92	1188.09			
19	Peso de la Briqueta Saturada	gr.	1192.20	1191.85	1191.26	1190.24	1191.26	1191.36			
20	Peso de la Briqueta en el Agua	gr.	655.36	657.43	656.97	657.12	657.60	656.89			
21	Volumen de la Briqueta	cc	536.85	534.43	534.30	533.13	533.66	534.47			
22	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.22	2.22	2.22	2.23	2.23	2.22			
23	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.378	2.378	2.378	2.378	2.378	2.38			
24	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31			
25	% Vacios	%	6.73	6.69	6.59	6.27	6.31	6.52			
26	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47			
27	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54			
28	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50			
29	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	-26.76	-26.76	-26.76	-26.76	-26.76	-26.76			
30	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	84.56	84.60	84.69	84.98	84.94	84.76			
31	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.70	8.71	8.72	8.75	8.74	8.72			
32	% de vacios del Agregado Mineral	%	15.44	15.40	15.31	15.02	15.06	15.24			
33	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	31.08	31.08	31.08	31.08	31.08	31.08			
34	Relacion Betun Vacios	%	56.38	56.55	56.94	58.23	58.07	57.23			
35	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1179.65	992.50	930.56	1150.00	1215.44	1093.63			
36	Factor de Estabilidad		0.93	0.96	0.96	0.96	0.96	0.00			
37	Estabilidad Corregida	kgf	1097.07	952.80	893.34	1104.00	1166.82	1042.81			
38	Lectura del Flexímetro (0.01")	pulg.	22.00	18.88	18.91	19.00	22.00	20.16			
39	Fluencia	mm.	5.59	4.80	4.80	4.83	5.59	5.12			
40	Factor de Rigidez	Kgf/cm	1963.27	1986.85	1859.90	2287.61	2088.09	2037.14			
OBSERVACIONES :											
1. Agregado Fino.		18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.								
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		34.0%	Procedente de Yurimaguas.								
3. Agregado PET.		5.0%	Empresa Procesadora de Plasticos.								
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		38.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.								
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%	Fabrica								
TOTAL.		100.0%									

4.2.5. DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 6% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).

La siguiente imagen N°18, se puede observar las dosificaciones del primer ensayo con respecto al 6% de PET, y también la gráfica donde se puede observar que los porcentajes de los agregados si cumplen y están dentro del rango permitido por las normas MTC – MAC - 02.

Tabla N°31. Dosificación de agregados con el 6% de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.												
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".												
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.												
MAC - 02												
Muestra: Combinación Teórica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 23/12/2021				
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2					Fuente: MTC - MAC - 02.				
DATOS DE LA MUESTRA												
MATERIAL		PORCENTAJE		PROCEDENCIA			OBSERVACIONES					
1. Agregado Fino.		18.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 17.								
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		33.0%		Procedente de Yurimaguas.								
3. Agregado PET.		6.0%		Empresa Procesadora de Plásticos.								
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		38.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 60.								
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%		Fabrica								
TOTAL.		100.0%										
TAMIZ	ABERT. mm.	% RETENIDO PARCIAL					Promedio % Que Pasa	ESPECIFICACIÓN		FORMULA DE TRABAJO SEGÚN ESPECIFICACIÓN		DESCRIPCION
		1. Agregado Fino.	2. Agregado Grueso.	3. Agregado PET.	4. Agre. Complementario.	5. Filler.		MAC - 2		OBRA		
1 1/2"	38.100							Minima	Maxima	Minima	Maxima	Tamaño maximo : 3/4"
1"	25.400						100.0	100	100			Tamaño Nominal : 1/2 "
3/4"	19.000						80.3	80	100			Composicion de Agregados :
1/2"	12.500	100.0	40.41	100.00	100.00	100.0	73.1	70	88			Grava : 33.4 %
3/8"	9.500	100.0	18.42	100.00	100.00	100.0	66.6	51	68			Arena : 60.3 %
1/4"	6.350						46.1	38	52			Finos : 6.2 %
Nº 4	4.750	100.0	4.36	87.90	96.97	100.0	24.4	17	28			
Nº 8	2.360						9.9	8	17			
Nº 10	2.000	99.98	3.31	44.30	50.87	100.0						
Nº 16	1.190											
Nº 30	0.600											
Nº 40	0.425	92.73	2.53	23.61	1.09	99.99						
Nº 50	0.300											
Nº 80	0.297	22.53	1.56	3.70	0.28	99.86						
Nº 100	0.150											
Nº 200	0.075	5.35	0.81	0.00	0.11	99.09						
< Nº 200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						

CURVA GRANULOMETRICA

4.2.6. ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 6%, PET.

En la siguiente imagen se podrá observar los resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de PET empleado en este caso 6%.

Tabla N°32. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 6 % de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.													
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".													
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.													
MAC - 02													
Muestra: Combinación Teórica			Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 23/12/2021					
Cantera: Iquitos - Nauta.			MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2										
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 6% DE PET.													
	PROBETAS							1	2	3	4	5	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05
4	% De Pet. Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65
5	% De Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76
6	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71
7	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.02
8	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.59
9	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.61
10	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.54
11	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.63
12	Peso Especifico Bulk del Pet (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.42
13	Peso Especifico Aparente del Pet (Menor N° 4)	gr/cc	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.43
14	Peso Especifico Bulk de Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.52
15	Peso Especifico Aparente de Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.64
16	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.12
17	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.77	6.79	6.74	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.76
18	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1184.63	1184.25	1182.89	1185.88	1179.84	1183.50	1183.50	1183.50	1183.50	1183.50	1183.50
19	Peso de la Briqueta Saturada	gr.	1194.33	1193.34	1191.78	1194.75	1188.71	1192.58	1192.58	1192.58	1192.58	1192.58	1192.58
20	Peso de la Briqueta en el Agua	gr.	658.20	658.10	655.59	657.50	649.95	655.87	655.87	655.87	655.87	655.87	655.87
21	Volumen de la Briqueta	cc	536.13	535.24	536.19	537.25	538.76	536.71	536.71	536.71	536.71	536.71	536.71
22	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.21	2.21	2.21	2.21	2.19	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21
23	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.359	2.359	2.359	2.359	2.359	2.359	2.359	2.359	2.359	2.359	2.36
24	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
25	% Vacios	%	6.33	6.21	6.48	6.43	7.17	6.52	6.52	6.52	6.52	6.52	6.52
26	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
27	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
28	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
29	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75	-33.75
30	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	84.89	85.01	84.76	84.81	84.14	84.72	84.72	84.72	84.72	84.72	84.72
31	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.77	8.78	8.76	8.76	8.69	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75
32	% de vacios del Agregado Mineral	%	15.11	14.99	15.24	15.19	15.86	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28
33	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66	37.66
34	Relacion Betun Vacios	%	58.07	58.59	57.47	57.68	54.81	57.32	57.32	57.32	57.32	57.32	57.32
35	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1120.40	1069.20	1126.00	1113.20	1107.70	1107.30	1107.30	1107.30	1107.30	1107.30	1107.30
36	Factor de Estabilidad		0.93	0.96	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
37	Estabilidad Corregida	kgf	1041.97	1026.43	1047.18	1035.28	1030.16	1036.20	1036.20	1036.20	1036.20	1036.20	1036.20
38	Lectura del Flexímetro (0.01")	pulg.	18.50	23.00	23.50	26.50	17.00	21.70	21.70	21.70	21.70	21.70	21.70
39	Fluencia	mm.	4.70	5.84	5.97	6.73	4.32	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
40	Factor de Rigidez	Kgf/cm	2217.43	1756.99	1754.36	1538.07	2385.74	1930.52	1930.52	1930.52	1930.52	1930.52	1930.52
OBSERVACIONES :													
1. Agregado Fino.			18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.									
2. Agre. Grueso (Grava chancada).			33.0%	Procedente de Yurimaguas.									
3. Agregado PET.			6.0%	Empresa Procesadora de Plasticos.									
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)			38.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.									
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)			5.0%	Fabrica									
TOTAL.			100.0%										

4.2.7. DOSIFICACION TEORICA DE LOS AGREGADOS CON EL 7% DE PET MAS EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN – (MAC -02).

La siguiente imagen N°20, se puede observar las dosificaciones del primer ensayo con respecto al 7% de PET, y también la gráfica donde se puede observar que los porcentajes de los agregados si cumplen y están dentro del rango permitido por las normas MTC – MAC - 02.

Tabla N°33. Dosificación de agregados con el 7% de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.											
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".											
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.											
MAC - 02											
Muestra: Combinación Teórica		Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 23/12/2021				
Cantera: Iquitos - Nauta.		MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2					Fuente: MTC - MAC - 02.				
DATOS DE LA MUESTRA											
MATERIAL		PORCENTAJE		PROCEDENCIA		OBSERVACIONES					
1. Agregado Fino.		18.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 17.							
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		33.0%		Procedente de Yurimaguas.							
3. Agregado PET.		7.0%		Empresa Procesadora de Plásticos.							
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		37.0%		Cantera Iquitos - Nauta km 60.							
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%		Fabrica							
TOTAL.		100.0%									
CURVA GRANULOMETRICA											
TAMIZ	ABERT. mm.	% RETENIDO PARCIAL					Promedio % Que Pasa	ESPECIFICACIÓN		FORMULA DE TRABAJO SEGÚN ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCION
		1. Agregado Fino.	2. Agregado Grueso.	3. Agregado PET.	4. Agre. Complemenario.	5. Filler.		Minima	Maxima	Minima	Maxima
1 1/2"	38.100										Tamaño maximo : 3/4"
1"	25.400										Tamaño Nominal : 1/2 "
3/4"	19.000						100.0	100	100		
3/8"	12.500	100.0	40.41	100.00	100.00	100.0	80.3	80	100		Composicion de Agregados :
2/8"	9.500	100.0	18.42	100.00	100.00	100.0	73.1	70	88		Grava : 33.5 %
3/16"	6.350										Arena : 60.2 %
Nº 4	4.750	100.0	4.36	87.90	96.97	100.0	66.5	51	68		Finos : 6.2 %
Nº 8	2.360										
Nº 10	2.000	99.98	3.31	44.30	50.87	100.0	46.0	38	52		
Nº 16	1.190										
Nº 30	0.600										
Nº 40	0.425	92.73	2.53	23.61	1.09	99.99	24.6	17	28		
Nº 50	0.300										
Nº 80	0.297	22.53	1.56	3.70	0.28	99.86	9.9	8	17		
Nº 100	0.150										
Nº 200	0.075	5.35	0.81	0.00	0.11	99.09	6.2	4	8		
< Nº 200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
ESPECIFICACIÓN CARPETA ASFALTICA (MALLAS - ASTM)											
● ESPECIF. SUPERIOR ASTM ● ESPECIF. INFERIOR ASTM — Muestra											

4.2.8. ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) A LAS BRIQUETAS CON DOSIFICACION TEORICA DE 7%, PET.

En la siguiente imagen se podrá observar los resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de PET empleado en este caso 7%.

Tabla N°34. Resultados de Ensayos - Briquetas con el 7 % de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.											
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".											
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.											
MAC - 02											
Muestra: Combinación Teórica		Pen - 60/70 Proveedor : Compra.					Fecha : 23/12/2021				
Cantera: Iquitos - Nauta.		MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2									
ENSAYO DE BIQUETAS CON UN 7% DE PET.											
	PROBETAS							1	2	3	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94	16.94
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05	31.05
4	% De Pet Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59
5	% De Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	34.82	34.82	34.82	34.82	34.82	34.82	34.82	34.82	34.82
6	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71
7	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021	1.021
8	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592
9	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609	2.609
10	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541	2.541
11	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627	2.627
12	Peso Especifico Bulk del Pet (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419	1.419
13	Peso Especifico Aparente del Pet (Menor N° 4)	gr/cc	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429	1.429
14	Peso Especifico Bulk de Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522	2.522
15	Peso Especifico Aparente de Agradado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639	2.639
16	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120	3.120
17	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.83	6.94	7.10	7.07	6.96	6.98	6.98	6.98	6.98
18	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1177.40	1184.13	1184.45	1187.05	1183.26	1183.26	1183.26	1183.26	1183.26
19	Peso de la Briqueta Saturada	gr.	1189.12	1199.57	1205.76	1208.41	1203.55	1201.28	1201.28	1201.28	1201.28
20	Peso de la Briqueta en el Agua	gr.	650.55	660.80	663.56	665.85	661.43	660.44	660.44	660.44	660.44
21	Volumen de la Briqueta	cc	538.57	538.77	542.20	542.56	542.12	540.84	540.84	540.84	540.84
22	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.19	2.20	2.18	2.19	2.18	2.19	2.19	2.19	2.19
23	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.349	2.349	2.349	2.349	2.349	2.349	2.349	2.349	2.349
24	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
25	% Vacios	%	6.93	6.44	7.00	6.86	7.08	6.86	6.86	6.86	6.86
26	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
27	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
28	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
29	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	-41.66	-41.66	-41.66	-41.66	-41.66	-41.66	-41.66	-41.66	-41.66
30	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	84.63	85.08	84.56	84.69	84.49	84.69	84.69	84.69	84.69
31	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.44	8.48	8.43	8.45	8.43	8.45	8.45	8.45	8.45
32	% de vacios del Agregado Mineral	%	15.37	14.92	15.44	15.31	15.51	15.31	15.31	15.31	15.31
33	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10	45.10
34	Relacion Betun Vacios	%	54.90	56.87	54.64	55.18	54.33	55.19	55.19	55.19	55.19
35	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1155.60	1069.60	802.40	899.50	1017.90	989.00	989.00	989.00	989.00
36	Factor de Estabilidad		0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
37	Estabilidad Corregida	kgf	1074.71	994.73	746.23	836.54	946.65	919.77	919.77	919.77	919.77
38	Lectura del Fleximetro (0.01")	pulg.	25.00	21.00	21.00	20.00	22.00	21.80	21.80	21.80	21.80
39	Fluencia	mm.	6.35	5.33	5.33	5.08	5.59	5.54	5.54	5.54	5.54
40	Factor de Rigidez	Kgf/cm	1692.45	1864.88	1399.01	1646.72	1694.07	1659.43	1659.43	1659.43	1659.43
OBSERVACIONES :											
1. Agregado Fino.			18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.							
2. Agre. Grueso (Grava chancada).			33.0%	Procedente de Yurimaguas.							
3. Agregado PET.			7.0%	Empresa Procesadora de Plasticos.							
4. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)			37.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.							
5. Filler (Cemento Sol Tipo 1)			5.0%	Fabrica							
TOTAL.			100.0%								

4.2.9. ENSAYO RICE (MTC E - 508) A LAS MUESTRAS CON DIFERENTES DOSIFICACIONES TEORICAS DE PET.

En la siguiente imagen se podrá observar la gravedad específica de cada muestra con respecto al porcentaje de PET empleado.

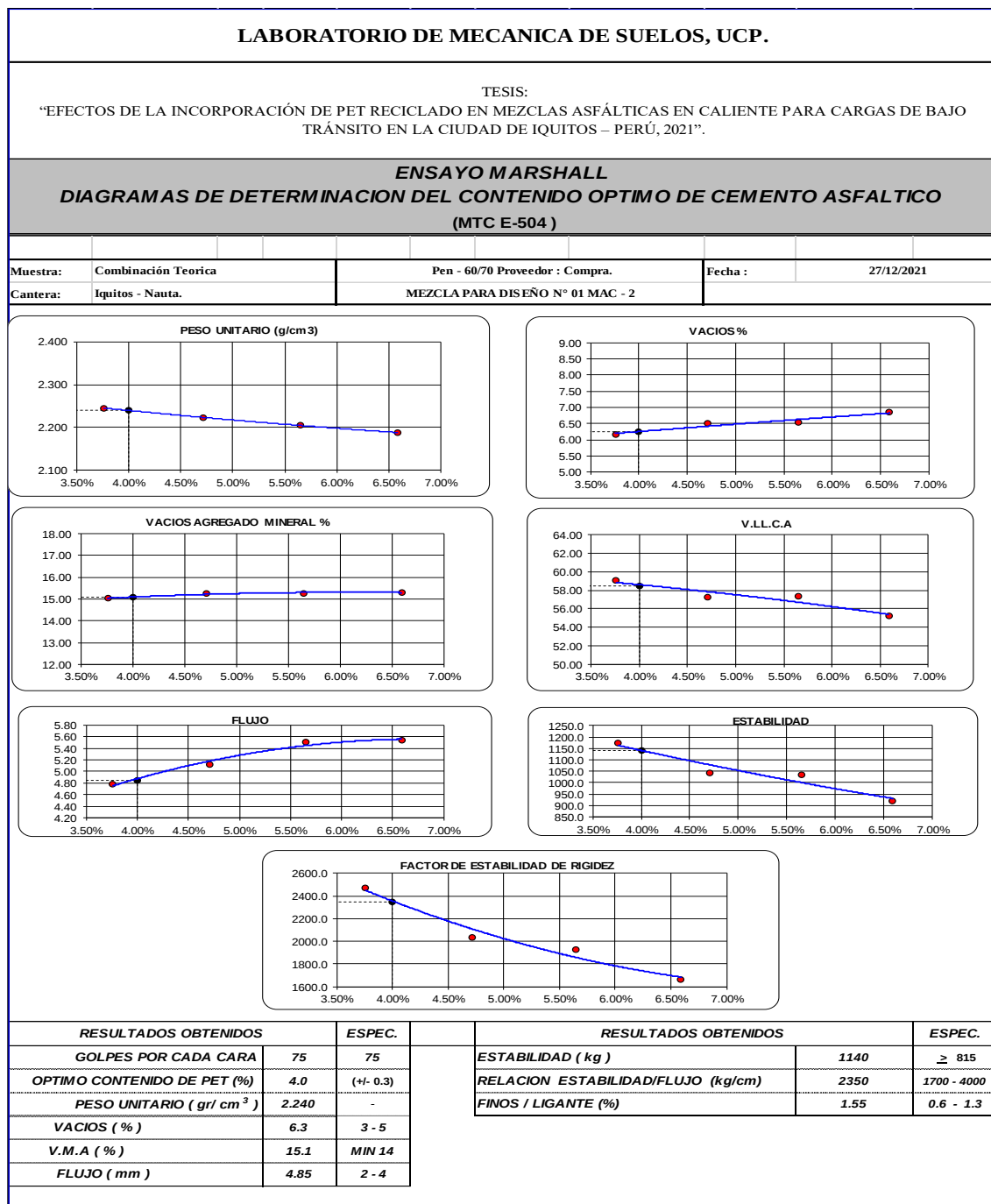
Tabla N°35. Resultados de Ensayo Rice (MTC E – 508).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.						
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".						
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, ABSORCIÓN y ASFALTO EFECTIVO						
(MTC E-508 / ASTM D-2041 / AASHTO T-209)						
Muestra: Ensayo Marshall		Pen - 60/70 Proveedor : Compra.		Fecha : 13/12/2021		
Cantera: Iquitos - Nauta.		MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2				
1	Peso del frasco + el agua	3171.0	3171.0	3171.0	3171.0	
2	Peso de la mezcla	1587.9	1581.6	1585.6	1552.9	
3	Peso del frasco + mezcla + agua	4095.3	4087.4	4084.5	4062.9	
4	Volumen de la mezcla, (1+2-3)	663.6	665.2	672.1	661.0	
5	Gravedad específica de la mezcla,(2/4)	2.393	2.378	2.359	2.349	
6	Porcentaje de PET total en la mezcla	4.0	5.0	6.0	7.0	
Gravedad Especifica V.S Cemento Asfaltico (%) 2.392 Gr/Cm3 $y = -0.0151x + 2.4528$ GRAVEDAD ESPECIFICA (Rice Gr/Cm3) CEMENTO ASFALTICO (%)						
OBSERVACIONES: COMBINACION DE AGREGADOS.						
1. Agregado Fino.		18.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 17.			
2. Agre. Grueso (Grava chancada).		35.0%	Procedente de Yurimaguas.			
3. Agre. Complemen. (Arena Gruesa)		42.0%	Cantera Iquitos - Nauta km 60.			
4. Filler (Cemento Sol Tipo 1)		5.0%	Fabrica			
Total		100.0%				

4.2.10. GRAFICOS DEL ENSAYO MARSHALL (MTC E - 504) CON RESPECTO A LOS RESULTADOS DE CADA ENSAYO CON PET.

En la siguiente imagen N°23, se podrá observar los gráficos donde están las curvas realizadas con los resultados de los cuadros que están en las imágenes N°15, N°17, N°19 y N°21, resultados de cada briqueta con respecto al porcentaje de PET empleado.

Tabla N°36. Grafica de los resultados del ensayo Marshall.



PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis específica 1: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional”

Formulación de hipótesis

Hipótesis nula: Los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla **es igual** a los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013. Para la mezcla asfáltica convencional

Hipótesis alternativa Los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla **es diferente** a los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional.

Análisis: El análisis se realizó al 5% de significación, utilizando el SPSS-V23

Variable	Estadística de muestra única				t	Valor de prueba = 2850		
	N	Media	Desviación estándar	Diferencia de medias		Grado de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
Estabilidad	4	2025.06	338.409	-824.9375	-4.88	3	,007	-824.94

Decisión: si $p = 0.007 < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula:

Conclusión: Los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla **es diferente** a los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013. para la mezcla asfáltica convencional.

Hipótesis específica 2: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple

con los valores de deformaciones permanentes establecidas por las normas para la mezcla asfáltica tradicional.

Formulación de hipótesis

Hipótesis nula: Los valores de deformación de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET es **igual** a los valores de deformaciones permanentes establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional.

Hipótesis alternativa: La deformación de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET **es diferente** a los valores de deformaciones permanentes establecidas por las normas para la mezcla asfáltica convencional

Análisis: El análisis se realizó al 5% de significación, utilizando el SPSS-V23, se utilizó la estadística t, prueba de medias para muestra independientes, se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas con la prueba de **Levene**, para verificar la hipótesis nula H0: Los datos tienen varianzas iguales:

Estadísticos de grupo: Deformación de la mezcla

Agrupación	Muestra	Media	Desviación estándar
PET	4	2025,0625	338,40934
Convencional	4	3343,1150	1154,27270

Prueba de muestras independientes

Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
22,377	0,003	-2,192	6	0,071	-1318,0525	601,42879	-2789,69	153,59

Decisión: Para homogeneidad de varianzas de la deformación, $p=0.003 < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula. *Para la comparación de promedios de deformación: $p=0.071 > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.*

Conclusión: Los datos no tienen varianzas iguales y la deformación de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET es **igual** a los valores de deformaciones permanentes establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional.

Hipótesis específica 3: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de soporte de carga establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica tradicional.

Formulación de hipótesis

Hipótesis nula: El soporte de carga de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica es **igual** con los valores de soporte de carga establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional.

Hipótesis alternativa: El soporte de carga de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica es **diferente** con los valores de soporte de carga establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional.

Análisis: El análisis se realizó al 5% de significación, utilizando el SPSS-V23, se utilizó la estadística t, prueba de muestra única con valor referencial: $\mu_0=2850$ (kg/cm) [1.700 - 4.000].

Estadísticos de muestra única: soporte de carga de la mezcla

Agrupación	Muestra	Media	Desviación estándar
PET	5	2473,1600	255,99752
Convencional		2850	

Prueba de muestra única: soporte de carga

Valor de prueba = 2850					
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior
-3,292	4	0,030	-376,84	-694,7029	-58,9771

Decisión: $p=0.03 < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula. Y se acepta la hipótesis alternativa

Conclusión: El soporte de carga de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica es **diferente** con los valores de soporte de carga establecidas por las normas para la mezcla asfáltica tradicional.

Nota: En el estudio la diferencia de carga es negativa, entonces el soporte de carga de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET es menor que los establecidos en la mezcla convencional

CAPITULO V. DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. DISCUSION

Al realizar el ensayo Marshall, a las briquetas con diferentes dosificaciones o porcentajes de Tereftalato de Polietileno (PET), dieron resultados buenos, ya que con cierto porcentaje de PET la estabilidad del concreto asfáltico se mantiene y a cuanto más alto es el porcentaje de este agregado al concreto la estabilidad empieza a disminuir.

El diseño de mezcla o dosificación de los agregados se dio de acuerdo a los parámetros de la curva granulométrica indicada en el MAC – 02, pero en este caso el agregado incorporado es el PET, que es un material nuevo en este campo de mezclas asfálticas en caliente, por lo tanto, no hay normas o parámetros que nos indiquen o limiten su cantidad de uso o empleo. Entonces para saber los porcentajes de PET que se debería emplear para realizar los ensayos o Briquetas, se tomó referencia de los antecedentes que tenemos.

Como punto de partida para la primera dosificación se tomó en cuenta el trabajo de investigación de tesis de **Espinoza Japa Semilí Luis (2019)** con el tema “Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco-2018”, las cuales emplea porcentajes de 18%, 20%, 22%, 24% y 26% de PET con respecto al peso de la briqueta, de las cuales para el primer ensayo de nuestra investigación tome como referencia emplear un 15% de PET, 17% agregado fino (arena), 39% agregado grueso (grava), 25% agregado complementario (arena gruesa) y 4% de filler (cemento), con respecto al peso de la briqueta (1200g), en primer momento se observó que esa cantidad de PET tiene un volumen notable pero se procedió a realizar la mezcla para la briqueta, entonces se hizo el procedimiento con 75 golpes y el resultado fue que esa cantidad empleada de PET perjudica la mezcla y la compactibilidad del concreto asfáltico.

Entonces se tomó en cuenta el volumen del PET de acuerdo al peso, por ese motivo se procedió a realizar un segundo ejemplar en este caso con el 7.5% de PET, se procedió a realizar los 75 golpes por lado y el resultado fue satisfactorio, pero con la diferencia que este agregado aumenta el volumen de la briqueta.

Viendo los resultados obtenidos se tomó en cuenta algunos datos de **Monturiol (2019)**, en su trabajo de tesis en Costa Rica, efectuó una evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con plástico PET, donde coincidimos con los porcentajes empleados para la mezcla asfáltica en caliente, muy aparte que ellos asieron una investigación más profunda del PET, donde ellos indican que el PET tiene una recristalización a los 160°C pero no indican si es a fuego directo o indirecto para el proceso de mezcla de los agregados, en nuestro caso los resultados obtenidos fueron sorprendentes, ya que a fuego indirecto (en horno) supero los 180°C y el detalle es que no tiene deformación alguna a esta temperatura pero si tiende a un enfriamiento rápido a temperatura ambiente ya sea en aglomeración o por cuerpos separados.

Teniendo en cuenta los demás antecedentes empleados en esta investigación, no concordamos ya sea debido a falta de detalle de su proceso de investigación o a ver realizado mal algún ensayo.

Y con respecto a la estabilidad y flujo obtenidos del ensayo Marshall, se obtuvo buenos resultados de acuerdo a los porcentajes de PET empleados, que superan el límite mínimo de estabilidad permitida por el MTC.

5.2. CONCLUSIONES

La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET, no cumple con los valores de las características físicas y mecánicas establecidas por las normas correspondientes para la mezcla asfáltica convencional; en este sentido la hipótesis ha sido contrastada.

La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET si cumple con los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET no mejora el comportamiento a las deformaciones permanentes en comparación a las que presenta la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET, no cumple con los valores de soporte de carga establecidos por las normas para la mezcla asfáltica convencional.

El aumento de volumen de los agregados variable de acuerdo al porcentaje de PET empleado en la mezcla del concreto asfáltico, aporta a disminuir estos insumos que se emplea normalmente, por lo que sí contribuye a la conservación del medio ambiente.

5.3. RECOMENDACIONES

- La estabilidad varia al adicionar el PET, por lo tanto, se recomendaría emplear dosificaciones de acuerdo al tipo de experimento o ensayo que se realice.
- Se recomendaría a la persona que desea experimentar sobre este tema y tomando en cuenta esta tesis, que incluya aditivos ya que le ayudaran a obtener mejores resultados.
- A la luz de los resultados se recomienda a la Dirección de Estudios del MTC u otras entidades públicas tomar en cuenta lo obtenido en esta investigación y proseguir en la misma línea con el uso de aditivos para alcanzar el cumplimiento de las propiedades mecánicas y contribuir con el medio ambiente al utilizar el plástico reciclado PET que ahora está contaminando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Monturiol Arroyo Mauricio. Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET. Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería civil. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 122 pg. 2019.
2. Rodriguez Castro, E. Uso de Polvo de Caucho de Llantas en Pavimentos Asfálticos. San José, Costa Rica. 2016.
3. Rodriguez, E., & Villegas, E. Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. San José:UCR. 2012.
4. Salazar, J. Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta. San José. 2008
5. Salazar, J. Métodos de ensayo para la determinación cualitativa y cuantitativa del contenido de polímero presente en ligantes asfálticos modificados. San José: UCR. 2013
6. Pérez, L.M. Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga. México D.F. 2012.
7. Rodríguez Castro, E. Uso de polvo de caucho de llantas en pavimentos asfálticos. San José, Costa Rica. 2016.
8. Dos Santos Pereira, A.P., Prado da Silva, M. H., Lima Júnior, É. P., Anderson dos Santos, P., & James Tommasini, F. Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete. Río de Janeiro. 2017.

9. Elizondo, F., Salazar Delgado, J., & Villegas Villegas, E. Análisis reológico de asfaltos modificados. San José. 2010.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones N° 18-2016- MTC/14. “Manual de Ensayo de materiales”. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. MTC. Lima: 2016. Pág. 559.
11. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. “Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. MTC. Lima: 2016. Pág.583.
12. Minaya González S. & Ordóñez Huamán A. Diseño moderno de pavimentos asfálticos. Universidad Nacional de Ingeniería- Instituto de Investigaciones-ICG Lima. 2006.
13. Universidad Mayor de San Simón (2004). Facultad de Ciencias y Tecnología. Pavimentos texto guía.
14. Menéndez Acuario R. Ingeniería de Pavimentos-Materiales, Diseño y Conservación. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima. 2009
15. Silvestre Velásquez Deyvis Fausto. Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima – 2017. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Escuela profesional de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Cesar Vallejo. 2017.
16. Rodríguez Valdivia Fernando Andrés. Tesis para optar el título de ingeniero constructor: Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil. Chile. 2008.

17. Huertas Cadena G. & Caza Ruiz J. Tesis: Diseño de un pavimento flexible adicionando Tereftalato de Polietileno como material constitutivo junto con ligante AC-20. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE; Ecuador. 2010.
18. Marín Hernández A. Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos. Tesis para optar la licenciatura de Ingeniería Civil. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura; México. 2008.
19. Herrada Barreto Y. & Chávez Pinedo J. Uso de polímeros en el asfalto y su influencia en la variación de un pavimento. Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad de Ingeniería. Trujillo. 2013.
20. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA [on line]. Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos [consultada el 13 de Febrero de 2006]. Citado de la página web: <<http://200.14.206.180/publnew/plaz/plaz5.htm>>.
21. Figueroa, A. y F. Reyes. Asfaltos modificados con poliestireno. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle – Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
22. Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998a.
23. Instituto Nacional de Vías. Normas de ensayo de materiales para carreteras. Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998b.
24. Padilla, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana

mediante el ensayo de pista. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

25. Reyes, F. y M. Ortiz. “Mejoramiento de capas asfálticas usando desechos plásticos”. Memorias de las 3as Jornadas Internacionales del Asfalto. Universidad del Cauca – Corasfaltos – Ministerio de Transporte – Instituto Nacional de Vías – Instituto Panamericano de Carreteras. 2002.

26. Sánchez, A. “Análisis comparativo de las características físicas entre el asfalto convencional y el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada”. Trabajo de Grado. Universidad de La Salle. Bogotá D.C., 2006.

27. Ana Sofía Figueroa Infante / Arnulfo Sánchez Castillo / Fredy Alberto Reyes Lizcano. Caracterización Física de un asfalto modificado Con poliestireno y llanta triturada. Épsilon, julio - diciembre, número 009. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. pp. 41-55. 2007 <http://redalyc.uaemex.mx>

28. Cárdenas Carlos Iván, Vaca Caicedo Liseth Yajaira, Cote Rocha Carlos Fernando, Flores Cordón Hernando René. ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIALES DESECHABLES, ALTERNATIVOS, NO CONVENCIONALES. Universidad Francisco de Paula Santander. 2020. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/347507151>

29. Barrientos Monsalve, E., Cárdenas Gutiérrez, J., & Cordero Díaz, M. (2020). Gestión del capital intelectual en la dirección de programa de ingeniería civil de la UNEFA núcleo Táchira. Revista AGLALA, 11(2), 1-13.

30. Camargo Chávez, H., & Suárez Mesa, A. Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente MDC-2 (Especialista en ingeniería de pavimentos). Universidad Militar Nueva Granada. 2010.
31. Cárdenas, J., & Fonseca, E. (2009). Modelación del comportamiento ecológico del asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad-temperatura. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA)*, 12, 125-137. ISSN 1794-1237.
32. Cardoza Zambrano, M., Palomino Cadena, K., & Angulo Blanquisset, G. Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, 10(2), 17-27. 2019. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.16>
33. Ruiz Jimenez, A., Pérez Márquez, F., & Barrientos Monsalve, E. (2020). Prototipo a escala de un modelo de resonancia en edificaciones diseñado con figuras geométricas. *Revista Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo* ,11 (2), 107-114. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.100> .
34. Ramírez Pico, L., Orjuela Rodríguez, A., & Angulo Blanquisset, G. (2020). Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, 11(1), 44-53. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.34>.
35. Coicue Duarte, L., & Sepulveda Salazar, C. (2017). Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19 (Ingeniería civil). Universidad Católica de Colombia.
36. Figueroa Infante Ana Sofía, Sánchez Castillo, Arnulfo y Reyes Lizcano Fredy Alberto. Caracterización física de un asfalto modificado

con poliestireno y llanta triturada. Épsilon Revista de las Facultades de Ingeniería. Universidad de La Salle. Épsilon, julio - diciembre, número 009. Universidad de La Salle icivil@lasalle.edu.co. Universidad de La Salle Bogotá, Colombia pp. 41-55. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Redalyc. ISSN (Versión impresa): 1692-1259. Colombia. 2007.

37. Espinoza Japa Semilí Luis. “Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco-2018”. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. 2019.

38. Fuentes Ordoñez, Edwin Gustavo, González-Marcos, María P., López Fonseca, Rubén, Gutiérrez Ortiz, José Ignacio & González Velasco, Juan R. (julio - septiembre de 2012). Mecanismos de degradación térmica y catalítica de poliestireno bajo condiciones de hidrocraqueo. Avances en Ciencias e Ingeniería, Volumen III N° 03, páginas 69 - 81. Obtenido de http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2012/Vol3/Nro3/8-ACI1112-11-full.pdf . 2012

39. Canta Huarcaya, F., & Vivas Jines, K. (2018). Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas. (Ingeniería civil). Universidad Cesar Vallejo.

40. Figueroa Infante, A., Reyes Lizcano, F., Hernández Barrera, D., Jimenez, C., & Bohorquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. Ingeniería E Investigación, 27(3), 5-15.

41. Forero Triana, M., & Hernández Franco, J. (2020). Diseño Marshall y verificación de adherencia de una mezcla asfáltica MDC-25

con reemplazo parcial de material granular por ceniza de cascarilla de arroz (Ingeniería civil). Universidad Católica de Colombia.

42. Forigua Orjuela, J., & Pedraza Díaz, E. (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos (Especialista en Ingeniería de Pavimentos). Universidad Católica de Colombia.

43. Jaramillo, H., Regino, F., & Gómez, J. (2020). Análisis de las propiedades mecánicas en bloques de cemento con incorporación de plástico, reforzado con poliestireno revestido en malla hexagonal galvanizada. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, 1(35), 9-15.

44. Reyes Lizcano, F., & Reyes Ortiz, O. (2004). Ahuellamiento en mezclas asfálticas por la adición de residuos de plástico como reemplazo de material. *Ingeniería*, 14(1 y 2), 124-133.

45. Reyes Lizcano, F., Madrid Ahumada, M., & Salas Callejas, S. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). *Infraestructura Vial*, 17, 25-34.

46. Rondón Quintana, H., Rodríguez Rincón, E., & Moreno Anselmi, I. (2007). Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS). *Ingenierías Universidad de Medellín*, 6(11), 91-104.

47. Rondón Quintana, H., Rodríguez Rincón, E., Reyes Lizcano, F., Real Triana, c., & Figueroa infante, a. (2007). Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. *Infraestructura Vial*, (19).

48. Ruiz, A., Peñaranda, C., Fuentes, G., & Semprun, M. (2020). Análisis comparativo de resultados en el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material sustituyente del cemento portland en el concreto. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, 11(2), 8-17.
49. Vaca Caicedo Liseth Yahaira, Iván Cárdenas Carlos, Cote Rocha Carlos Fernando y flores cordón Hernando René. Análisis de mezclas asfálticas modificadas con materiales desechables, alternativos, no convencionales. Universidad Francisco de Paula Santander. ResearchGate, Artículo 21 diciembre 2020. 2020.
50. Wulf Rodríguez, f. Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero (Ingeniería civil). Universidad Austral de Chile. 2008.

ANEXO 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Título: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema General. ¿De qué manera la inclusión del plástico reciclado PET como agregado en las mezclas asfálticas mejora sus características físicas y estructurales? Problemas específicos 1. ¿Cuánto mejora el comportamiento a las deformaciones permanentes en una mezcla modificada con plástico frente a una mezcla asfáltica tradicional? 2. ¿Cómo influye el uso de plástico reciclado PET en las propiedades físicas de las mezclas	Objetivo General. Determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada con plástico PET en comparación a la tradicional. Objetivos Específicos 1. Determinar cuánto mejora el comportamiento a las deformaciones permanentes en una mezcla modificada con plástico frente a una mezcla asfáltica tradicional. 2. Determinar cómo influye el uso de plástico reciclado PET en las propiedades físicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad de respuesta en climas cálidos y cambios de temperatura.	Hipótesis General H : “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET, cumple con los valores de las características físicas y mecánicas establecidas por las normas correspondientes para la mezcla asfáltica tradicional”. Hipótesis Específicos. H1: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de las características físicas establecidas por las normas EG-2013 para la mezcla asfáltica tradicional”.	Variable independiente X: X: Mezcla asfáltica reforzada con plástico PET reciclado fundido. Variable dependiente Y: Y: Desplazamientos y deformaciones del concreto asfáltico	Indicadores X: Dosificación. Rigidez. Indicadores Y: Resistencia a la deformación plástica dinámica: Desplazamientos y deformaciones	Tipo de Investigación: Experimental. Diseño de Investigación: Cuasi-Experimental. Esquema: M O Donde: M: Muestra. O: Observaciones.

asfálticas para mejorar su capacidad de respuesta en climas cálidos y cambios de temperatura? 3. ¿Cómo influye el uso de plástico reciclado PET en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad para soportar cargas? 4. ¿Cómo la inclusión de plástico reciclado PET contribuye con la solución de la problemática ambiental desde el punto de vista de la Ingeniería Civil?	3. Determinar cómo influye el uso del plástico reciclado PET en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para mejorar su capacidad de soporte de cargas. 4. Determinar la contribución a la solución de la problemática ambiental desde el punto de vista de la Ingeniería Civil de la inclusión de plástico reciclado PET en las mezclas asfálticas.	H2: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de deformaciones permanentes establecidas por las normas para la mezcla asfáltica tradicional. H3: “La mezcla asfáltica en caliente elaborada con incorporación de plástico reciclado PET en la mezcla asfáltica, cumple con los valores de soporte de carga establecidas por las normas para la mezcla asfáltica tradicional.			
---	--	--	--	--	--

**ANEXO 02. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS.
ANEXO DE RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS A LOS
AGREGADOS.**

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E - 114).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.				
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.				
EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D - 2419.				
Datos de campo:				
Cantera	:	KM 17		
Fecha de ensayo	:	02/11/2021		
N° DE ENSAYOS		1	2	3
A	Hora de entrada a saturación	10:43 a. m.	10:46 a. m.	10:49 a. m.
B	Hora de salida de saturación	10:53 a. m.	10:56 a. m.	10:59 a. m.
C	Hora de entrada a decantación	10:56 a. m.	10:59 a. m.	11:02 a. m.
D	Hora de salida de decantación	11:16 a. m.	11:19 a. m.	11:22 a. m.
E	Nivel de arcilla (mm)	103	114	116
F	Nivel de arena (mm)	82	102	93
G	Temperatura de ensayo (°C)	29.7°C	29.5°C	29.5°C
H	EQUIVALENTE DE ARENA ((F)/(E))*100 (%)	79.61	89.47	80.17
				PROMEDIO
<i>Redondeo al inmediato superior</i>		80	90	81
				84
ESPECIFICACIONES : El ensayo de Equivalente de Arena se realizó según norma MTC E 114, Norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.				
OBSERVACIONES : La muestra fue proporcionada e identificada por el solicitante.				
RESULTADOS : El Equivalente de Arena Promedio de la muestra es de 84 %.				

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ARENA FINA) – (MTC E - 205) – (RICE D - 2041).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.							
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.							
Cantera	:	Cantera Iquitos - Nauta km 17.					
Tipo de Agregado	:	Agrado Fino _ Arena Fina.					
Fecha	:	04/11/2021					
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO ASTM C - 128							
N° DE ENSAYOS			1	2	3	PROMEDIO	
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)		211.23	214.87	214.36		
B	Peso Frasco + H2O		707.51	676.09	723.11		
C	Peso Frasco + H2O + A = (A+B)		918.74	890.96	937.47		
D	Peso de Mat. + H2O en el Frasco		837.24	808.17	855.30		
E	Vol. Masa + Vol. de Vacío = (C-D)		81.50	82.79	82.17		
F	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C)		211.00	214.18	213.74		
G	Vol. Masa = (E-A+F)		81.27	82.10	81.55		
Peso Específico Bulk (Base Seca)= (F/E)			2.589	2.587	2.601	2.592	
Peso Específico Bulk (Base Saturada)= (A/E)			2.592	2.595	2.609	2.599	
Peso Específico Aparente (Base Seca)=(F/G)			2.596	2.609	2.621	2.609	
% de Absorción = ((A-F)/F)*100			0.11	0.32	0.29	0.24	
ESPECIFICACIONES		El ensayo Gravedad Específica y Absorción del agregado fino se desarrolló según las Normas ASTM C 128 y N.T.P. 400.022.					
RESULTADOS		El promedio del Peso Específico del agregado fino es 2.609 gr/cc.					
		El promedio del % de Absorción del agregado fino es 0.24%.					

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MTC E - 206).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.						
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.						
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO ASTM C - 127						
DATOS DE CAMPO						
Cantera	:	Procedencia de Yurimaguas.				
Ubicación	:	Yurimaguas.				
Fecha ensayo	:	05/11/2021				
Agregado Grueso						
NOMBRES			MUESTRA 01	MUESTRA 02		
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco+malla (en aire)		1652.84	1653.85		
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seco+malla (en agua)		1037.30	1040.84		
C	Peso de malla (en aire)		78.50	84.01		
D	Peso de malla (en agua)		71.67	84.01		
E	Peso de Mat. Seco en Estufa + malla (aire)		1632.47	1634.21		
F	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire) = (A-C)		1574.34	1569.84		
G	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en agua)=(B-D)		965.63	956.83		
H	Vol. Masa + Vol. de Vacío = (F-G)		608.71	613.01		
I	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C) = E-C		1553.97	1550.20		
J	Vol. Masa = (H-(F-I))		588.34	593.37		
Peso Específico de Masa (Base Seca)= (I/H)			2.553	2.529	2.541	
Peso Específico de Masa (S.S.S)= (F/H)			2.586	2.561	2.574	
Peso Específico Aparente= (I/J)			2.641	2.613	2.627	
% de Absorción = ((F-I)/I)*100			1.31	1.27	1.290	
ESPECIFICACIONES : El ensayo Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso se desarrolló según las Normas ASTM C 127 y N.T.P. 400.021.						
RESULTADOS : El Peso Específico del agregado grueso es 2.541 gr/cc. El Porcentaje de Absorción del agregado grueso es 1.29%.						
Equipos utilizados:						
Balanza 4'100gr: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LM-240-2020).						
Horno: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LT-108-2020).						

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ARENA GRUESA), (MTC E - 205) (RICE D - 2041)..

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.							
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.							
Cantera	:	Cantera Iquitos - Nauta km 60.					
Tipo de Agregado	:	Agrado Fino _ Arena Gruesa.					
Fecha	:	18/11/2021					
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO ASTM C - 128							
N° DE ENSAYOS			1	2	3	PROMEDIO	
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)		226.85	228.65	247.67		
B	Peso Frasco + H2O		707.51	676.09	723.11		
C	Peso Frasco + H2O + A = (A+B)		934.36	904.74	970.78		
D	Peso de Mat. + H2O en el Frasco		846.00	816.16	873.68		
E	Vol. Masa + Vol. de Vacío = (C-D)		88.36	88.58	97.10		
F	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C)		223.08	224.77	243.25		
G	Vol. Masa = (E-A+F)		84.59	84.70	92.68		
Peso Específico Bulk (Base Seca)= (F/E)			2.525	2.537	2.505	2.522	
Peso Específico Bulk (Base Saturada)= (A/E)			2.567	2.581	2.551	2.566	
Peso Específico Aparente (Base Seca)=(F/G)			2.637	2.654	2.625	2.639	
% de Absorción = ((A-F)/F)*100			1.69	1.73	1.82	1.74	
ESPECIFICACIONES		:	El ensayo Gravedad Específica y Absorción del agregado fino se desarrolló según las Normas ASTM C 128 y N.T.P. 400.022.				
RESULTADOS		:	El promedio del Peso Específico del agregado fino es 2.639 gr/cc.				
			El promedio del % de Absorción del agregado fino es 1.74%.				

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (PET).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.					
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.					
Cantera	:				
Tipo de Agregado	:	Agrado Fino _ PET.			
Fecha	:	21/11/2021			
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO ASTM C - 128					
N° DE ENSAYOS		1	2	3	PROMEDIO
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)	120.09	118.58	121.15	
B	Peso Frasco + H2O	707.51	676.09	723.11	
C	Peso Frasco + H2O + A = (A+B)	827.60	794.67	844.26	
D	Peso de Mat. + H2O en el Frasco	744.25	718.84	749.29	
E	Vol. Masa + Vol. de Vacío = (C-D)	83.35	75.83	94.97	
F	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C)	119.13	118.58	120.12	
G	Vol. Masa = (E-A+F)	82.39	75.83	93.94	
Peso Específico Bulk (Base Seca)= (F/E)		1.429	1.564	1.265	1.419
Peso Específico Bulk (Base Saturada)= (A/E)		1.441	1.564	1.276	1.427
Peso Específico Aparente (Base Seca)=(F/G)		1.446	1.564	1.279	1.429
% de Absorción = ((A-F)/F)*100		0.81	0.00	0.86	0.55
ESPECIFICACIONES : El ensayo Gravedad Específica y Absorción del agregado fino se desarrolló según las Normas ASTM C 128 y N.T.P. 400.022.					
RESULTADOS : El promedio del Peso Específico del agregado fino es 1.429 gr/cc. El promedio del % de Absorción del agregado fino es 0.55%.					

ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (ARENA FINA) – (MAC – 02).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.

TESIS:

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.

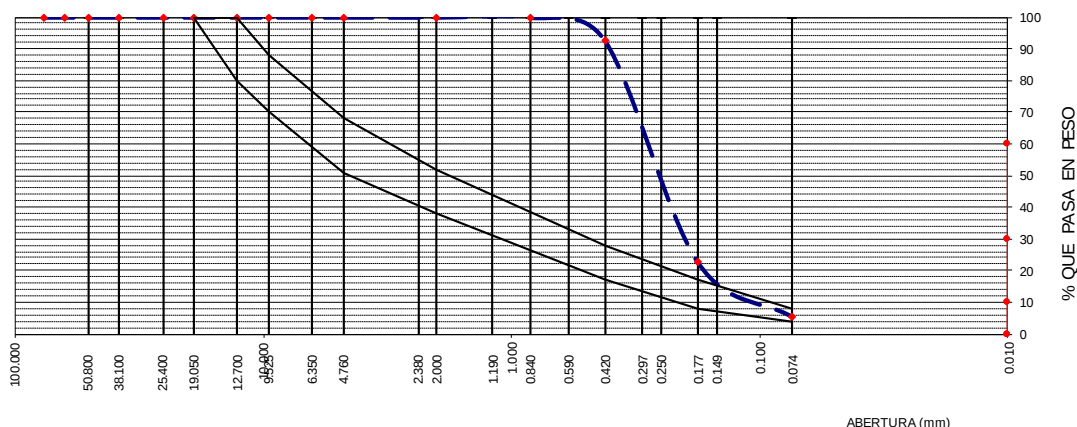
ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 / NTP 339.128

Datos de campo:

Cantera : Cantera Iquitos - Nauta km 17.
Muestra : Acopio
Ubicación : Carretera Iquitos a Nauta Km 17
Fecha de ensayo : 09/11/2021
Peso de muestra seca : 317.34
Peso de muestra lavada : 300.37

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : SP-SM
3/4"	19.050				100	100	Clas. AASHTO : A-3 (0)
1/2"	12.700				80	100	
3/8"	9.525				70	88	
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00	51	68
Nº10	2.000	0.07	0.02	0.02	99.98	38	52
Nº40	0.420	22.99	7.24	7.27	92.73	17	28
Nº80	0.177	222.78	70.20	77.47	22.53	8	17
Nº200	0.074	54.53	17.18	94.65	5.35	4	8
Pasa Nº200		16.97	5.35				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada e identificada por el solicitante; y trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arena mal graduada con limo, de color beige, húmeda; porcentaje reducido de partículas finas, clasificada como (SP-SM) A-3 (0).
El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 5.35 %

Equipos utilizados:

Balanza 4100gr: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LM-240-2020) / Horno: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LT-108-2

ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MAC – 02).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.

TESIS:

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.

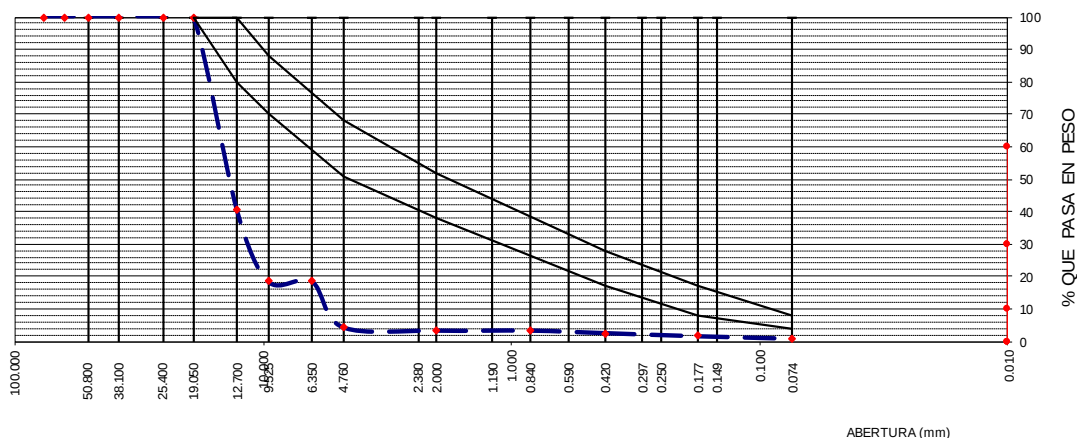
ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 / NTP 339.128

Datos de campo:

Cantera : Proveniente de Yurimaguas
Ubicación : Yurimaguas
Fecha de ensayo : 05/11/2021
Peso de muestra seca : 3428.92
Peso de muestra lavada : 3401.26

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : GP
3/4"	19.050				100.00	100	Clas. AASHTO : A-1-a (0)
1/2"	12.700	2043.14	59.59	59.59	40.41	80	
3/8"	9.525	754.05	21.99	81.58	18.42	70	
Nº4	4.760	482.29	14.07	95.64	4.36	51	
Nº10	2.000	36.09	1.05	96.69	3.31	38	
Nº40	0.420	26.66	0.78	97.47	2.53	17	
Nº80	0.177	33.14	0.97	98.44	1.56	8	
Nº200	0.074	25.89	0.76	99.19	0.81	4	
Pasa Nº200		27.66	0.81				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada e identificada por el solicitante; y trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Grava pobremente graduada, de color beige, húmeda; porcentaje reducido de partículas finas, clasificada como (GP) A-1-a (0).
El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 0.81 %

Equipos utilizados:

Balanza 4100gr: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LM-240-2020) / Horno: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LT-108-2

ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (PET) – (MAC – 02).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.

TESIS:

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.

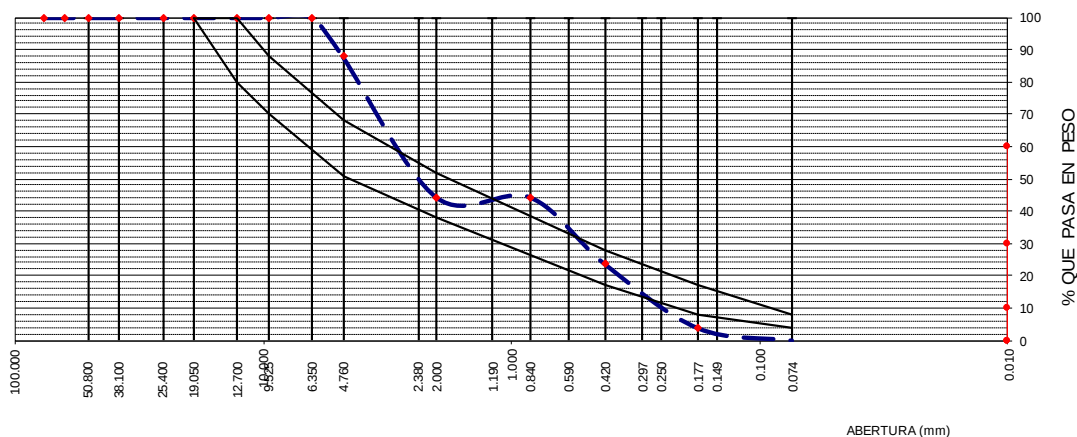
ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 / NTP 339.128

Datos de campo:

Proveedor :
Muestra : Acopio
Ubicación :
Fecha de ensayo : 12/11/2021
Peso de muestra seca : 327.19
Peso de muestra lavada : 327.74

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050				100	100	Clas. AASHTO : A-1-a (0)
1/2"	12.700				80	100	
3/8"	9.525				70	88	
Nº4	4.760	39.60	12.10	12.10	87.90	51	68
Nº10	2.000	120.78	36.91	55.70	44.30	38	52
Nº40	0.420	67.69	20.69	76.39	23.61	17	28
Nº80	0.177	65.12	19.90	96.30	3.70	8	17
Nº200	0.074	12.67	3.87	100.17	-0.17	4	8
Pasa Nº200		21.33	6.52				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada e identificada por el solicitante; y trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : Arena mal graduada, de color beige, húmeda; porcentaje reducido de partículas finas, clasificada como (SP) A-1-a (0).
El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de -0.17 %

Equipos utilizados:

Balanza 4100gr: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LM-240-2020) / Horno: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LT-108-2

ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (ARENA GRUESA) – (MAC – 02).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.									
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422 / NTP 339.128									
Datos de campo:									
Cantera		Cantera Iquitos - Nauta km 60.							
Muestra		Acopio							
Ubicación		Cantera Iquitos - Nauta km 60.							
Fecha de ensayo		18/11/2021							
Peso de muestra seca		503.94							
Peso de muestra lavada		503.40							
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.		Observaciones	
2 1/2"	63.500							L. Líquido	NP
2"	50.600							L. Plástico	NP
1 1/2"	38.100							Ind. Plástico	NP
1"	25.400							Clas. SUCS	SP
3/4"	19.050					100	100	Clas. AASHTO	A-1-b (0)
1/2"	12.700					80	100		
3/8"	9.525					70	88		
1/4"	6.350				100.00				
Nº4	4.760	15.25	3.03	3.03	96.97	51	68		
Nº10	2.000	232.35	46.11	49.13	50.87	38	52		
Nº40	0.420	250.85	49.78	98.91	1.09	17	28		
Nº80	0.177	4.10	0.81	99.72	0.28	8	17		
Nº200	0.074	0.85	0.17	99.89	0.11	4	8		
Pasa Nº200		0.54	0.11						
CURVA GRANULOMETRICA									
ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001									
OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada e identificada por el solicitante; y trasladada al laboratorio.									
RESULTADOS : Arena mal graduada, de color beige, húmeda; porcentaje reducido de partículas finas, clasificada como (SP) A-1-b (0). El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 0.11 %									
Equipos utilizados:									
Balanza 4100gr: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LM-240-2020) / Horno: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LT-108-2									

ENSAYO GRANULOMETRICO DEL FILLER (CEMENTO SOL TIPO 1) – (MAC – 02).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.

TESIS:

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.

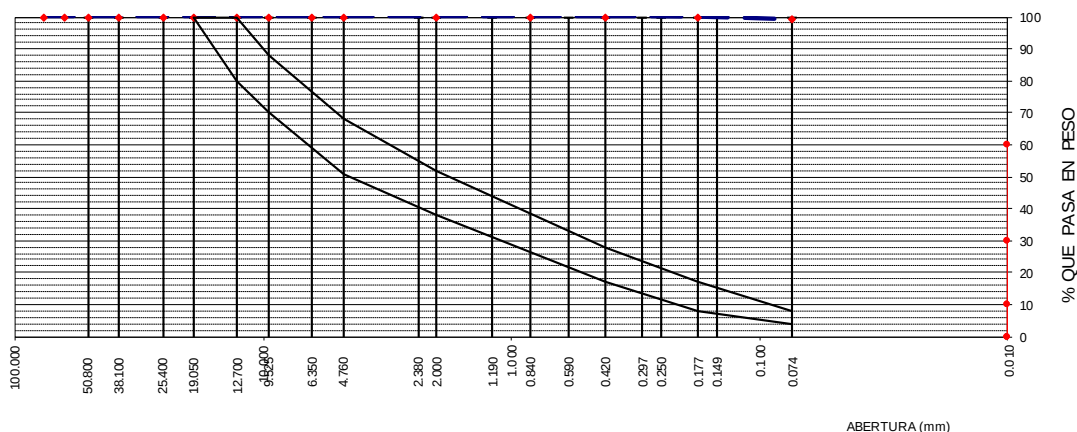
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D - 422 / NTP 339.128**

Datos de campo:

Cemento : Sol Tipo 1
Ubicación : Compra - Ferreteria.
Fecha de ensayo : 10/11/2021
Peso de muestra seca : 380.54

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050					100	100
1/2"	12.700					80	100
3/8"	9.525					70	88
1/4"	6.350						
Nº4	4.760					51	68
Nº10	2.000					38	52
Nº40	0.420	0.02	0.01	0.01	99.99	17	28
Nº80	0.177	0.52	0.14	0.14	99.86	8	17
Nº200	0.074	2.91	0.76	0.91	99.09	4	8
Pasa Nº200		377.09	99.09				

CURVA GRANULOMETRICA



ESPECIFICACIONES : El Análisis Granulométrico por tamizado se realizó según ASTM D-422, Norma Técnica NTP 339.128, clasificación SUCS del suelo según ASTM D-2487 y los tamices cumplen con los requisitos de la Norma NTP 350.001

OBSERVACIONES : La muestra corresponde a suelo alterado, fue muestreada e identificada por el solicitante; y trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : #REF!

El porcentaje que pasa la malla Nº 200 es de 99.09 %

Equipos utilizados:

Balanza 4100gr: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LM-240-2020) / Horno: Metrotec S.A.C. – (Certificado de calibración MT-LT-108-2020)

ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO A LOS AGREGADOS FINOS (ARENA FINA) Y GRUESOS (GRAVA) – (MTC E - 209).

	INFORME		Código	AE-FO-63
	ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209		Versión	01
			Fecha	18-11-2021
			Página	1 de 1

Proyecto	: "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"	Registro N°:	MTL 21 - 185
Solicitante	: Diaz Bardalez Williams Alexander	Muestreado por :	Solicitante
Atención	: Diaz Bardalez Williams Alexander	Ensayado por :	D.CASTILLO
Ubicación de Proyecto	: Iquitos	Fecha de Ensayo:	18/11/2021
Material	: Agregado Grueso.	Turno:	Diurno
Material	: Agregado Fino.		
Procedencia	: Yurimaguas - (A.G.)		
N° de Muestra	: --		
Progresiva	: --		

AGREGADO GRUESO

TAMAÑO		PESO REQUERIDO (g)	RECIPIENTE N°	PESO INICIAL (g)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL (%)	PERDIDA CORREGIDA (%)
					PESO	%		
2"	1 1/2"	1000,0		1000,0	985,2	1,5	27,8	0,41
1 1/2"	1"	500,0		500,0	487,9	2,4	20,3	0,49
1"	3/4"	670,0		670,0	652,2	2,7	21,7	0,58
3/4"	1/2"	330,0		330,0	302,5	8,3	9,3	0,77
1/2"	N°4	300,0		300,0	274,5	8,5	20,8	1,77
TOTALES				2800,0	2702,3		100,0	4,03

AGREGADO FINO

TAMAÑO		PESO REQUERIDO (g)	RECIPIENTE N°	PESO INICIAL (g)	PERDIDA		ESCALONADO ORIGINAL (%)	PERDIDA CORREGIDA (%)
					PESO	%		
3/4"	N° 4	100,0		100,0	95,2	4,8	32,1	1,54
N° 4	N° 8	100,0		100,0	93,3	6,7	4,6	0,31
N° 8	N° 16	100,0		100,0	95,6	4,4	8,1	0,36
N° 16	N° 30	100,0		100,0	92,2	7,8	19,7	1,53
N° 30	N° 50	100,0		100,0	91,3	8,7	35,5	3,09
TOTALES				500,0	467,6		100,0	6,83

OBSERVACIONES:

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales.	JEFE LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. KELY YANINA TINOCO LOZADA INGENIERO CIVIL REG. S.I.R. N° 183999	CQC - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 20604739572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE (CFNCE)

ENSAYO DE ABRASION LOS ANGELES AL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MTC E - 207).



"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑO MENORES DE 37.5 MM (1 1/2") ASTM C-131

PROYECTO : ENSAYOS PARA TESIS
ENTIDAD : DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - DRTC.
SOLICITANTE : WILLIAMS ALEXANDER DIAZ BARDALEZ
FECHA : SAN JUAN, 05 DE OCTUBRE 2021

Datos de campo:

Cantera : Papaplaya
Muestra : Agregado Grueso
Ubicación : Yurimaguas
Fecha de ensayo : 05/11/2021

1. Gradacion de la muestra a emplear:

Tamiz		Peso retenido en gr.
m.m.	Pulg.	
12.7	1/2"	2,500.50
9.52	3/8"	2,500.50

2. Ensayo al desgaste:

Metodo	Nº de revoluciones	Tiempo en minutos	Nº de esferas	Peso inicial de muestra en gr.	Peso final de muestra en gr.	% Desgaste
B	500	15	11	5001.00	4035.00	19.32

ESPECIFICACIONES : El ensayo de Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaño menores de 37.5 mm (1 1/2"), se realizó según las Normas ASTM C-131.

OBSERVACIONES : El material empleado en este ensayo, fue muestreada e identificada por el solicitante, y trasladada al laboratorio.

RESULTADOS : El ensayo realizado a la muestra se obtuvo un resultado del 19.32 % al desgaste.

GOBIERNO REGIONAL DE LORETO
DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

JAIME RAMIREZ PINEDO
TEC. de Laboratorio del Control de Calidad
de Materiales y Pavimentos

GOBIERNO REGIONAL DE LORETO
DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Ing. Mario Chavez López
Sub Director de Laboratorio y Suelos

ENSAYO PARA DETERMINACION DE LA ADHERENCIA DEL BITUMEN EN EL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MTC E - 507).

INFORME		Código	AE-FO-63
MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA DEL BITUMEN EN EL AGREGADO GRUESO ASTM D1664-80		Versión	01
		Fecha	16-11-2021
		Página	1 de 1

Proyecto : "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"
Solicitante : Diaz Bardalez Williams Alexander
Atención : Diaz Bardalez Williams Alexander
Ubicación de Proyecto : Iquitos
Material : Agregado Grueso - Piedra chancada huso #89

Registro N°: MTL 21 - 185
Muestreado por : Solicitante
Ensayado por : D.CASTILLO
Fecha de Ensayo: 16/11/2021
Turno: Diurno

Material : Grava chancada de 1/2"
Procedencia : Yurimaguas.
N° de Muestra : —
Progresiva : —

Muestra:
 Mezcla - Concreto Asfáltica - Diseño

Bitumen - Aditivo :
 * Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico PEN 60/70 5,90 %
 [en peso de la mezcla asfáltica total]

Agregados Pétreos [Proporciones] :
 * Agregado Grueso [Piedra Chancada Tmáx. 3/4"] 100,0 %
 100,0 %

[Estimación Visual]

Descripción - ensayo	Resultado
Recubrimiento, %	100,0
Desprendimiento, % retenido	+ 95,0

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM Nombre y firma:   MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	JEFE LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. KELY YAMINATINO LOZADA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 183999	CQC - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 2090736572 NICOLLE GUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

Jr. Arequipa 3197, Urb. Perú, San Martín de Porres

975232841
 922318222

informes@laboratoriomatestlab.com
 www.laboratoriomatestlab.com

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MTC E - 214).

INFORME		Código	AE-FO-72
 DETERMINACIÓN DEL INDICE DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS		Versión	01
		Fecha	19-11-2021
		Página	1 de 1

Proyecto : "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"
 Solicitante : Díaz Bardalez Williams Alexander
 Atención : Díaz Bardalez Williams Alexander
 Ubicación de Proyecto : Iquitos
 Material : Agregado Grueso

Registro N°: MTL 21 - 185
 Muestreado por : Solicitante
 Ensayado por : D.CASTILLO
 Fecha de Ensayo: 19/11/2019
 Turno: Diurno

Material : ---
 Procedencia : ---
 N° de Muestra : ---
 Progresiva : ---

TAMAÑOS DE MALLAS			Muestra	Agitación Muestra	Contenido de
PASA	RETENIDO	PESO (g)	Peso (g)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)
3/4"	1/2"	1070+/-10	1068		
1/2"	3/8"	570+/-10	570		
3/8"	Nº 4	910+/-5	911	10'	1000,0

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	Promedio
N° DE ENSAYO			
Hora de entrada a decantación	10:25	10:55	
Hora de salida de decantación (mas 20')	10:45	11:15	
Altura máxima de material fino (0.1")	4,70	4,60	
Índice de Durabilidad (De la tabla)	44,0	46,0	45,0

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM Nombre y firma:   MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	JEFE LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. KELY YANINA TINOCO LOZADA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 183999	CQC - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 20904736972 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

Jr. Arequipa 3197, Urb. Perú, San Martín de Porres 975232841 / 922318222 informes@laboratoriomatestlab.com / www.laboratoriomatestlab.com

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO (ARENA FINA) – (MTC E - 214).

	INFORME		Código	AE-FO-63
	INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO NORMA MTC E 214		Versión	01
			Fecha	17-11-2021
			Página	1 de 1

Proyecto : "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"
 Solicitante : Díaz Bardalez Williams Alexander
 Atención : Díaz Bardalez Williams Alexander
 Ubicación de Proyecto : Iquitos
 Material : Agregado Fino

Muestreado por : Solicitante
 Ensayado por : D.CASTILLO
 Fecha de Ensayo: 17/11/2021
 Turno: Diurno

TAMANOS DE MALLAS			Agitación Muestra (10 minutos)	Contenido de agua destilada (ml)	Muestra lata (ml.)
PASA	RETENIDO	PESO (gr)			
N° 4	Fondo	500	10'	1000	85

DESCRIPCIÓN N° DE ENSAYO	IDENTIFICACIÓN			
	1	2	3	Promedio
Hora de entrada a saturación	8:11	8:13		
Hora de salida de saturación (mas 10')	8:21	8:23		
Hora de entrada a decantación	8:23	8:25		
Hora de salida de decantación (mas 20')	8:43	8:45		
Lectura de la arcilla	5.0	4.9		
Lectura de la arena	4.0	3.9		
Índice de Durabilidad (Df=Larena/Larcilla*100)	80	80		80

Observaciones:

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y   MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	Nombre y  MATESTLAB S.A.C. KELY YANINA PINCO LOZADA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 183999	Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 20504738972 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (ASTM - 4791).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.						
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.						
PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO NTP 400.040, ASTM D-4791						
DATOS DE CAMPO						
Cantera	:	Proveniente de Yurimaguas				
Fecha ensayo	:	05/11/2021				
RELACIÓN DIMENSIONAL USADA PARA ENSAYO:		1:2				
PARTÍCULAS CHATAS						
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO DE MUESTRA (g)	PESO DE PARTICÚLAS CHATAS (g)	CANTIDAD DE PARTICULAS	PORCENTAJE RETENIDO DE ACUERDO A GRANULOMETRÍA (%)	PORCENTAJE DE PARTICÚLAS CHATAS (%)
1"	3/4"	-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	629.78	106.80	107	59.59	16.96
1/2"	3/8"	249.33	26.17	104	21.99	10.50
PARTÍCULAS ALARGADAS						
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO DE MUESTRA (g)	PESO DE PARTICÚLAS ALARGADAS (g)	CANTIDAD DE PARTICULAS	PORCENTAJE RETENIDO DE ACUERDO A GRANULOMETRÍA (%)	PORCENTAJE DE PARTICÚLAS ALARGADAS (%)
1"	3/4"	-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	629.78	42.76	107	59.59	6.79
1/2"	3/8"	249.33	24.69	104	21.99	9.90
PARTÍCULAS QUE CUMPLEN CRITERIOS DE CHATA Y ALARGADA						
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO DE MUESTRA (g)	PESO DE PARTICÚLAS (g)	CANTIDAD DE PARTICULAS	PORCENTAJE RETENIDO DE ACUERDO A GRANULOMETRÍA (%)	PORCENTAJE DE PARTICÚLAS CHATAS Y ALARGADAS (%)
1"	3/4"	-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	629.78	0.00	107	59.59	0.00
1/2"	3/8"	249.33	0.00	104	21.99	0.00
PARTÍCULAS QUE NO SON CHATAS NI ALARGADAS						
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO DE MUESTRA (g)	PESO DE PARTICÚLAS (g)	CANTIDAD DE PARTICULAS	PORCENTAJE RETENIDO DE ACUERDO A GRANULOMETRÍA (%)	PORCENTAJE DE PARTICÚLAS NO CHATAS NI ALARGADAS (%)
1"	3/4"	-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	629.78	480.22	107	59.59	76.25
1/2"	3/8"	249.33	198.97	104	21.99	79.80
ESPECIFICACIONES :		El ensayo de Partículas Chatas o Alargadas en el Agregado Grueso se desarrolló según las normas NTP 400.040, ASTM D-4791.				

ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE CARAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MTC E - 210).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.						
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.						
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS ASTM D - 5821						
DATOS DE CAMPO						
Cantera	:	Proveniente de Yurimaquas				
Fecha ensayo	:	05/11/2021				
CON UNA CARA FRACTURADA						
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO DE MUESTRA (g)	PESO DE MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (g)	A PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%)	B PORCENTAJE RETENIDO DE ACUERDO A GRANULOMETRÍA (%)	AxB
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1199.97	147.25	12.27	59.59	731.24
1/2"	3/8"	300.10	38.10	12.70	21.99	279.18
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA			12.39			
CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO DE MUESTRA (g)	PESO DE MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (g)	A PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (%)	B PORCENTAJE RETENIDO DE ACUERDO A GRANULOMETRÍA (%)	AxB
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1199.97	997.21	83.10	59.59	4952.10
1/2"	3/8"	300.10	257.64	85.85	21.99	1887.87
PORCENTAJE CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS			83.84			
ESPECIFICACIONES : El ensayo de Caras Fracturadas en los Agregados se desarrolló según la Norma ASTM D 5821.						
RESULTADOS : El porcentaje partículas con una cara fracturada o dos y más caras fracturadas son 12.39 % y 83.84 % respectivamente.						

ENSAYO PARA LA DETERMINACION CUANTITATIVA DE SALES SOLUBLES DEL AGREGADO FINO (ARENA FINA) – (MTC E - 219).

	INFORME	Código	AE-FO-82
	DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS MTC E209-2000	Versión	01
		Fecha	17-11-2021
		Página	1 de 1

Proyecto	: "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"	Registro N°:	MTL 21 - 185
Solicitante	: Díaz Bardalez Williams Alexander	Muestreado por :	Solicitante
Atención	: Díaz Bardalez Williams Alexander	Ensayado por :	D. CASTILLO
Ubicación de Proyecto	: Iquitos	Fecha de Ensayo:	17/11/2021
Material	: Agregado Fino	Turno:	Diurno

Código de Muestra	: --
Procedencia	: --
N° de Muestra	: --
Progresiva	: --

Identificación muestra	03	02	04
a.- Peso muestra en solución + vaso pirex, g	122,30	133,20	122,10
b.- Peso vaso pirex, g	26,10	26,75	26,48
c.- Peso muestra en solución, g	96,20	106,45	95,62
d.- Peso de la muestra evaporada + vaso pirex, g	26,189	26,831	26,555
e.- Peso de la muestra evaporada, g	0,089	0,081	0,075
Sales Solubles, %	0,0925	0,0761	0,0784
Promedio %	0,082		

$$\text{Sales Solubles, \%} = \left(\frac{(d - b)}{(a - b)} \right) \times 100$$

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM Nombre y firma:   MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	JEFE LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. KELY YANINA TINOLO LOZADA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 183999	CQC - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 2061738572 NICOLLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

ENSAYO PARA LA DETERMINACION CUANTITATIVA DE SALES SOLUBLES DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA) – (MTC E - 219).

	INFORME		Código	AE-FO-82
	DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS MTC E209-2000		Versión	01
			Fecha	17-11-2021
			Página	1 de 1

Proyecto : "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"

Registro N°: MTL 21 - 185

Solicitante : Diaz Bardalez Williams Alexander

Muestreado por : Solicitante

Atención : Diaz Bardalez Williams Alexander

Ensayado por : D.CASTILLO

Ubicación de Proyecto : Iquitos

Fecha de Ensayo: 17/11/2021

Material : Agregado Grueso

Turno: Diurno

Código de Muestra : --

Procedencia : --

N° de Muestra : --

Progresiva : --

Identificación muestra	07	08	09
a.- Peso muestra en solución + vaso pirex, g	115,60	117,21	116,37
b.- Peso vaso pirex, g	26,84	25,94	25,12
c.- Peso muestra en solución, g	88,76	91,27	91,25
d.- Peso de la muestra evaporada + vaso pirex, g	26,923	26,026	25,206
e.- Peso de la muestra evaporada, g	0,083	0,086	0,086
Sales Solubles, %	0,0935	0,0942	0,0942
Promedio %	0,094		

$$\text{Sales Solubles, \%} = \frac{(d - b)}{(a - b)} \times 100$$

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM Nombre y firma:   MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	JEFE LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. KELY YANNA TINO LOZADA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 183999	CQC - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 2094708572 NICOLE CUMPA BARRETO GERENTE (G.N.F.R.A.)

**ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO (ARENA FINA) –
(MTC E - 222).**

	INFORME		Código	AE-FO-63
	ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO MTC E 222		Versión	01
			Fecha	17-11-2021
			Página	1 de 1

Proyecto : "EFECTOS DE LA INCORPORACION DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRANSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS - PERU, 2021"

Solicitante : Diaz Bardalez Williams Alexander Muestreado por : Solicitante

Atención : Diaz Bardalez Williams Alexander Ensayado por : D.CASTILLO

Ubicación de Proyecto : IQUITOS Fecha de Ensayo: 17/11/2021

Material : Agravado Fino Turno: Diurno

(A) PESO MAT. + MOLDE	(B) PESO MOLDE	C. PESO MAT. B)	(D) VOLUMEN MOLDE	(E) PESO VOLUMETRICO (C/D)	(F) GRAVEDAD ESPECIFICA	ANGULARIDAD (F-E)/F	OBSERVACIONES
8903	5896	3007	2086	1,442	2,609	44,7%	
8903	5896	3007	2086	1,442	2,609	44,7%	
8905	5896	3009	2086	1,442	2,609	44,7%	
PROMEDIO						44,7%	

OBSERVACIONES: ARENA MENOR DE LA MALLA N° 8 Y RETENIDA EN LA MALLA N° 200

MATESTLAB SAC		
TECNICO LEM Nombre y firma:   MATESTLAB S.A.C. Laboratorio de Ensayo de Materiales	JEFE LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. KELY YANINA TINOCO LOZADA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 183999	CQC - LEM Nombre y firma:  MATESTLAB S.A.C. RUC 20804736572 NICOLE CUMPA BARRETO GERENTE GENERAL

INFORME DE ENSAYOS REALIZADOS AL PEN 60/70.

000002



PERÚ
Ministerio de Transportes y Comunicaciones

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 303 - 2017 - MTC/14.01

SOLICITANTE	: Llc. Victor Manuel Gonzales Pinedo - Gobierno Regional de Loreto.	MUESTRA	: Cemento Asfáltico.
DOMICILIO LEGAL	: Av. Abelardo Quiñones km 3,5 - Loreto.	IDENTIFICACIÓN	: PEN 60/70.
PROYECTO	: "No especifica"	PRESENTACIÓN	: Envase metálico.
REFERENCIA	: Oficio N° 650-2017-GRL/32-DRTC.	FECHA DE ENSAYO	: 2017/10/16 al 2017/10/24.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2017/10/11.		

REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS

ENSAYOS REALIZADOS A LA MUESTRA ORIGINAL	NORMA	RESULTADO
PENETRACIÓN, 25°C, 100g, 5 s, (0,1mm)	MTC E-304	63
PESO UNITARIO DE MATERIALES BITUMINOSOS a 25°C, (g/cm³)	MTC E-318	1,021
PUNTO DE INFLAMACIÓN, copa abierta Cleveland (°C)	MTC E-303	270,0
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min. (cm)	MTC E-306	+ 100
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, (%)	MTC E-302	99,52
INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TERMICA	Heukelom	- 0,26
ENSAYOS REALIZADOS DESPUÉS DE PELÍCULA FINA, 3,2 mm, 163 °C, 5h.		
PÉRDIDA DE MASA (%)	MTC E-315	0,31
PENETRACIÓN RETENIDA, (% de penetración original)	MTC E-304	68,2
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min. (cm)	MTC E-306	+ 100

Observaciones:

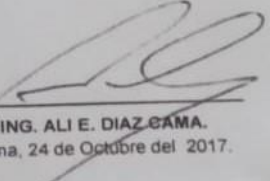
- Muestra de cemento asfáltico, proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2017/10/11.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



UMA (2/2)
adc/eval/edm.
O.S. N°294



ING. ALI E. DIAZ CAMA.
Lima, 24 de Octubre del 2017.





LABORATORIO DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0677

ANEXO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

Imagen N°01



Ensayo para el Equivalente de Arena.

Imagen N°02



Aparato automático para el Equivalente de arena.

Imagen N°03



Secado Superficial para Ensayo de Absorción y Peso Específico.

Imagen N°04



Sumergiendo la Arena en agua dentro del Matraz y para obtener un peso.

Imagen N°05



Secado de Muestra en Horno Digital.

Imagen N°06



Muestra seca después de 24 horas en el horno, se procede al Pesado.

Imagen N°07



Entrega de Muestra al Laboratorio del MTC, para el ensayo Los Ángeles.

Imagen N°08



Ensayo Absorción y Peso Específico de Arena Gruesa.

Imagen N°09



Tamizado de los Agregados de acuerdo al MAC – 02.

Imagen N°10



Tamizado del Agregado incorporado PET.

Imagen N°11



Determinación de Partículas Chatas y Alargadas.

Imagen N°12



Determinación de Partículas con Una y Dos Caras Fracturada.

Imagen N°13



Ensayo de Sometimiento del PET al Horno a una temperatura de 110°C.

Imagen N°14



Medición de temperatura después de un tiempo de 24 h. - (108.5°C).

Imagen N°15



Ensayo de Sometimiento del PET al Horno a una temperatura de 150°C.

Imagen N°16



Medición de temperatura después de un tiempo de 24 h. - (147.5°C).

ANEXO 03. DE LA REDACCION.
ANEXO DE RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS A LAS
BRIQUETAS PARA OBTENER EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN.

Resultados Promedio de Ensayos para Obtener el Porcentaje Óptimo de PEN.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.							
TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".							
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC. MAC - 02							
Muestra: Combinación Teórica		Pen - 60/70 Proveedor : Compra.				Fecha : 13/12/2021	
Cantera: Iquitos - Nauta.		MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2					
	PROMEDIO DE ESAYOS SEGÚN PORCENTAJE DE PEN.		5%	5.50%	6%	6.50%	
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.00	5.50	6.00	6.50	
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	17.10	17.01	16.92	16.83	
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	33.25	33.08	32.90	32.73	
4	% De Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	39.90	39.69	39.48	39.27	
5	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.75	4.73	4.70	4.68	
6	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021	
7	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592	
8	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609	
9	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541	
10	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627	
11	Peso Especifico Bulk de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522	
12	Peso Especifico Aparente de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639	
13	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.12	3.12	3.12	3.12	
14	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.28	6.20	6.14	6.10	
15	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1186.30	1190.99	1190.60	1178.21	
16	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1193.15	1194.75	1193.60	1180.04	
17	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	686.42	694.70	695.05	684.00	
18	Volumen de la Probeta	cc	506.73	500.05	498.54	496.04	
19	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.34	2.38	2.39	2.38	
20	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.46	2.45	2.43	2.42	
21	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.42	2.40	2.39	2.37	
22	% Vacios	%	4.72	2.67	1.72	1.77	
23	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.57	2.57	2.57	2.57	
24	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.65	2.65	2.65	2.65	
25	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.61	2.61	2.61	2.61	
26	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.64	0.64	0.64	0.64	
27	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	86.68	87.72	87.49	86.56	
28	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.60	9.61	10.79	11.68	
29	% de vacios del Agregado Mineral	%	13.32	12.28	12.51	13.44	
30	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	4.39	4.89	5.40	5.90	
31	Relacion Betun Vacios	%	64.62	78.30	86.25	86.90	
32	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1242.67	1406.66	1081.48	916.28	
33	Factor de Estabilidad		0.00	0.00	0.00	0.00	
34	Estabilidad Corregida	kgf	1276.38	1462.93	1124.74	966.51	
35	Lectura del Flexímetro (0.01")	pulg.	11.67	13.33	16.67	18.33	
36	Fluencia	mm	2.96	3.39	4.23	4.66	
37	Factor de Rigidez	Kgf/cm	4312.39	4330.52	2654.84	2074.71	

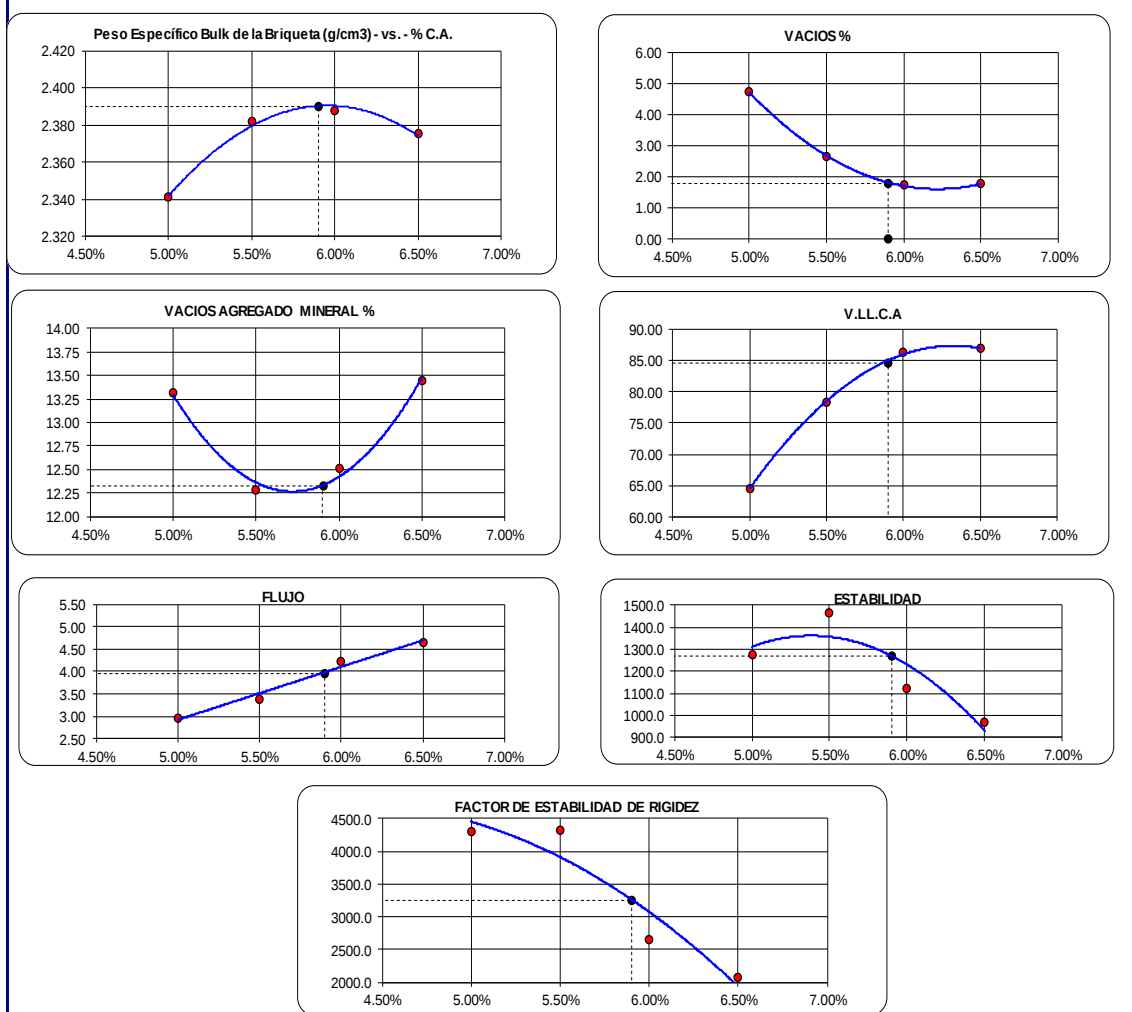
Gráficos de Resultados del ensayo Marshall con Respecto al PEN.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.

TESIS: "EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021".

ENSAYO MARSHALL DIAGRAMAS DE DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO (MTC E-504)

Muestra:	Combinación Teórica	Pen - 60/70 Proveedor : Compra.	Fecha :	13/12/2021
Cantera:	Iquitos - Nauta.	MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2		



RESULTADOS OBTENIDOS		ESPEC.	RESULTADOS OBTENIDOS		ESPEC.
GOLPES POR CADA CARA	75	75	ESTABILIDAD (kg)	1267	≥ 815
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	5.9	(+/- 0.3)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO (kg/cm)	3258	1700 - 4000
PESO UNITARIO (gr/ cm ³)	2.390	-	FINOS / LIGANTE (%)	1.06	0.6 - 1.3
VACIOS (%)	1.8	3 - 5			
V.M.A (%)	12.3	MIN 14			
FLUJO (mm)	3.95	2 - 4			

ANEXO FOTOGRAFICO DEL PROCESO REALIZADO A LOS AGREGADOS Y BRIQUETAS, PARA OBTENER EL PORCENTAJE OPTIMO DE PEN.

Imagen N°01



Dosificación de Agregados para realizar las Briquetas con 5% de PEN.

Imagen N°02



Preparación de los agregados para la mezcla con el 5% de PEN.

Imagen N°03



Dosificación de Agregados para realizar Briquetas con 5.5% de PEN.

Imagen N°04



Dosificación de Agregados para realizar Briquetas con 6% de PEN.

Imagen N°05



Preparación de los agregados para la mezcla con el 6% de PEN.

Imagen N°06



Ensayo de la Briqueta Sumergida con Parafina - Peso Unitario.

Imagen N°07



Se Realiza el Baño María a las Briquetas antes del Ensayo Marshall.

Imagen N°08



Se puede observar las Briquetas con las 4 Dosificaciones a ensayar.

Imagen N°09



Ensayo Marshall a las Briquetas con diferentes dosificaciones de PEN.

Imagen N°10



Podemos observar el Primer Ensayo Marshall de una Briqueta.

Imagen N°11



Peso de la muestra antes de someterlo a la Bomba extractora de

Imagen N°12



Extrayendo los Vacíos para determinar el Porcentaje de Vacíos.

ANEXO DE RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS A LAS BRIQUETAS CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE PET.

Resultados Promedio de Ensayos Marshall Realizados a las Briquetas con Diferentes Dosificaciones de PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.							
TESIS: “EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.							
COMBINACION TEORICA DOSIFICACION - MTC.							
MAC - 02							
Muestra:	Combinación Teórica	Pen - 60/70 Proveedor : Compra.	Fecha : 13/12/2021				
Cantera:	Iquitos - Nauta.	MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2					
	PROMEDIO DE ENSAYOS SEGÚN PORCENTAJE DE PET.		4%	5%	6%	7%	
1	C.A. En peso de la mezcla	%	5.90	5.90	5.90	5.90	
2	% De Arenas Finas Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	16.94	16.94	16.94	16.94	
3	% De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)	%	31.99	31.99	31.05	31.05	
4	% De Pet Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	3.76	4.71	5.65	6.59	
5	% De Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) Combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)	%	36.70	35.76	35.76	34.82	
6	% Filler (Cemento Sol Tipo 1) en Peso de la Mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	4.71	4.71	4.71	4.71	
7	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.021	1.021	1.021	1.021	
8	Peso Especifico Bulk de La Arena (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	2.592	2.592	2.592	2.592	
9	Peso Especifico Aparente de La Arena (Menor N° 4)	gr/cc	2.609	2.609	2.609	2.609	
10	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.541	2.541	2.541	2.541	
11	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada (Mayor N° 4)	gr/cc	2.627	2.627	2.627	2.627	
12	Peso Especifico Bulk del Pet (Base seca) (Menor N° 4)	gr/cc	1.419	1.419	1.419	1.419	
13	Peso Especifico Aparente del Pet (Menor N° 4)	gr/cc	1.429	1.429	1.429	1.429	
14	Peso Especifico Bulk de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.522	2.522	2.522	2.522	
15	Peso Especifico Aparente de Agragado Complementario Fino (Arenas Gruesas) (Menor N° 4)	gr/cc	2.639	2.639	2.639	2.639	
16	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	3.120	3.120	3.120	3.120	
17	Altura Promedio de la Briqueta	cm	6.62	6.80	6.76	6.98	
18	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1187.80	1188.09	1183.50	1183.26	
19	Peso de la Briqueta Saturada	gr.	1194.01	1191.36	1192.58	1201.28	
20	Peso de la Briqueta en el Agua	gr.	665.07	656.89	655.87	660.44	
21	Volumen de la Briqueta	cc	528.95	534.47	536.71	540.84	
22	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.25	2.22	2.21	2.19	
23	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.393	2.378	2.359	2.349	
24	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.32	2.31	2.29	2.28	
25	% Vacios	%	6.16	6.52	6.52	6.86	
26	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.49	2.47	2.45	2.43	
27	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.56	2.54	2.52	2.50	
28	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	1.71	1.50	1.35	1.22	
29	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	-18.59	-26.76	-33.75	-41.66	
30	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	84.97	84.76	84.72	84.69	
31	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	8.87	8.72	8.75	8.45	
32	% de vacios del Agregado Mineral	%	15.03	15.24	15.28	15.31	
33	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	23.39	31.08	37.66	45.10	
34	Relacion Betun Vacios	%	59.03	57.23	57.32	55.19	
35	Estabilidad Sin Corregir	kgf	1224.28	1093.63	1107.30	989.00	
36	Factor de Estabilidad		0.00	0.00	0.00	0.00	
37	Estabilidad Corregida	kgf	1175.31	1042.81	1036.20	919.77	
38	Lectura del Flexímetro (0.01")	pulg.	18.80	20.16	21.70	21.80	
39	Fluencia	mm.	4.78	5.12	5.51	5.54	
40	Factor de Rigidez	Kgf/cm	2473.16	2037.14	1930.52	1659.43	

Gráficos de Resultados del ensayo Marshall con Respecto al PET.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, UCP.

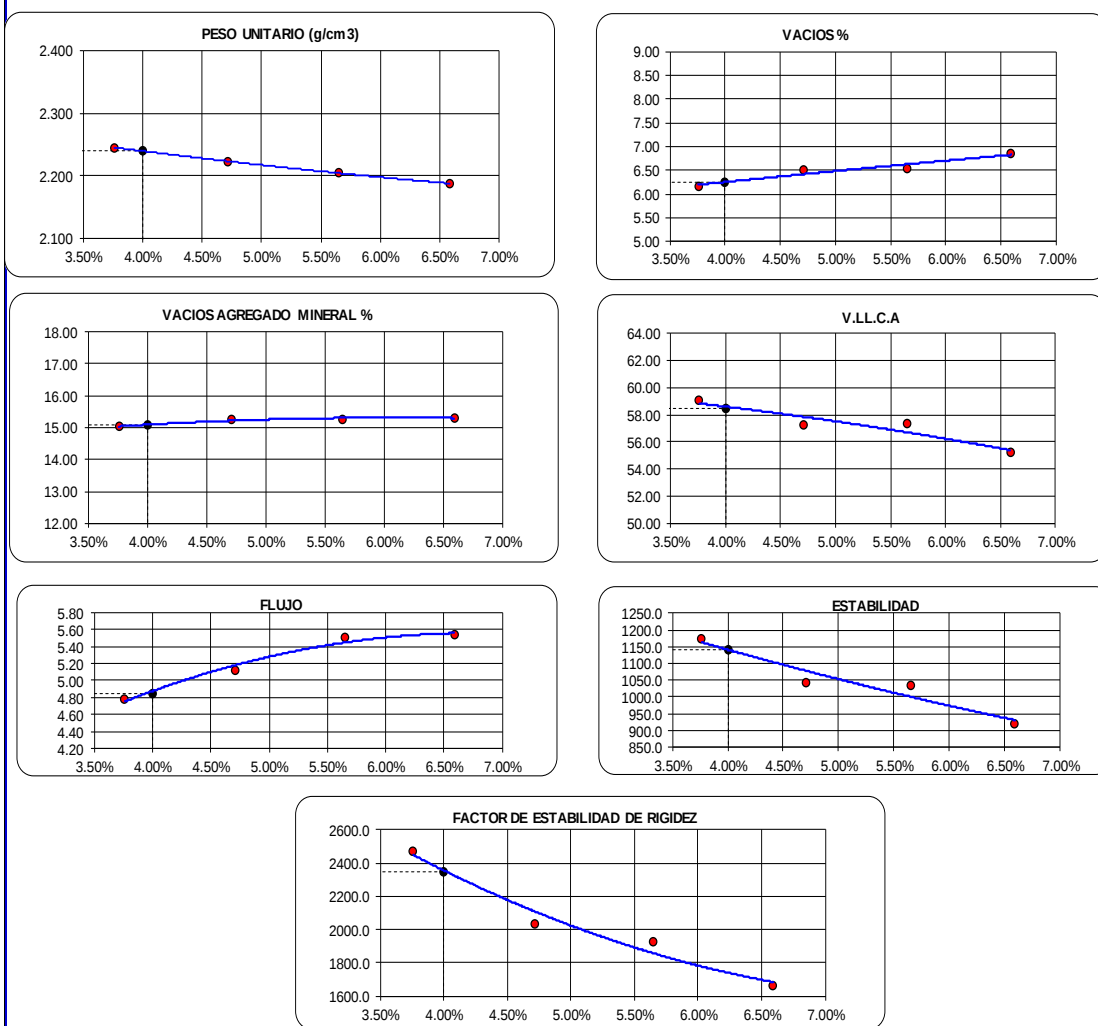
TESIS:

“EFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CARGAS DE BAJO TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE IQUITOS – PERÚ, 2021”.

ENSAYO MARSHALL

DIAGRAMAS DE DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO (MTC E-504)

Muestra:	Combinación Teórica	Pen - 60/70 Proveedor : Compra.	Fecha :	27/12/2021
Cantera:	Iquitos - Nauta.	MEZCLA PARA DISEÑO N° 01 MAC - 2		



RESULTADOS OBTENIDOS		ESPEC.	RESULTADOS OBTENIDOS		ESPEC.
GOLPES POR CADA CARA	75	75	ESTABILIDAD (kg)	1140	≥ 815
OPTIMO CONTENIDO DE PET (%)	4.0	(+/- 0.3)	RELACION ESTABILIDAD/FLUJO (kg/cm)	2350	1700 - 4000
PESO UNITARIO (gr/ cm ³)	2.240	-	FINOS / LIGANTE (%)	1.55	0.6 - 1.3
VACIOS (%)	6.3	3 - 5			
V.M.A (%)	15.1	MIN 14			
FLUJO (mm)	4.85	2 - 4			

ANEXO FOTOGRAFICO DEL PROCESO REALIZADO A LOS AGREGADOS Y BRIQUETAS CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE PET.

Imagen N°01



Primer Prototipo de MAC con una dosificación de 15% de PET.

Imagen N°02



Medición de la temperatura para proceder al moldeamiento.

Imagen N°03



Podemos observar las partículas de PET incorporadas.

Imagen N°04



Después de los 75 golpes por lado, se pudo observar que no se compactó.

Imagen N°05



Se observa que tiene más y menos adherencia debido al exceso de PET.

Imagen N°06



Se puede observar el desprendimiento de los agregados debido al exceso.

Imagen N°07



Segundo Prototipo de MAC con una dosificación de 7.5% de PET.

Imagen N°08



Se observa la diferencia de Volumen de las Briquetas, con dosificaciones de 7.5% y 4% de PET.

Imagen N°09



Dosificación de Agregados para realizar las Briquetas con 4% de PET.

Imagen N°10



Dosificación de Agregados para realizar las Briquetas con 5% de PET.

Imagen N°11



Dosificación de Agregados para realizar las Briquetas con 6% de PET.

Imagen N°12



Dosificación de Agregados para realizar las Briquetas con 7% de PET.

Imagen N°13



Preparación de la mezcla para proceder al agregado del PEN.

Imagen N°14



Se puede observar las Partículas de PET en la preparación de agregados.

Imagen N°15



Briquetas con las diferentes dosificaciones de PET.

Imagen N°16



Se puede observar el tamaño del Agregado Fino - PET.

Imagen N°17



Se coloca la Briqueta dentro del molde y así proceder a realizar el Ensayo

Imagen N°18



Se puede observar que la Briqueta está siendo sometida a la Prueba.

Imagen N°19



Del Ensayo Marshall se podrá obtener la Estabilidad y el Flujo que se observa.