



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL USO DE LA ARCILLA
BLANQUEADORA GASTADA COMO ALTERNATIVA PARA LA
PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA DE ASFALTO”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Teresa Gamarra Condemarin (0000-0001-7177-9160)

Asesor:

Olga Vadimovna Kostenko De Caparo (0000-0001-8895-8982)

Lima – Perú

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 26 de septiembre del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Ing. Sara Regina Purca Cuicapusa
Miembro: Mg. Ing. Roxana Yanett Díaz Vega
Miembro: Ing. Enrique Herencia Nuñez

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL USO DE LA ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA DE ASFALTO"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Teresa Gamarra Condemarin**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Olga Vadimovna Kostenko

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple () calificar a:

Tesista: Teresa Gamarra Condemarin	Nota [en letras]: (DIECISÉIS)16
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X)
Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dra. Ing. Sara Regina Purca Cuicapusa
Presidente



Mg. Ing. Roxana Yanett Díaz Vega
Miembro 1



Ing. Enrique Herencia Nuñez
Miembro 2



Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres por haberme dado su apoyo incondicional durante todos estos años, por ser esa razón y el más grande incentivo para el cumplimiento de mis objetivos que significan alegría y orgullo para mí y también para ellos

Teresa.

AGRADECIMIENTO

A la universidad por la oportunidad que me ha brindado y el orgullo que tengo de ella, así como a los docentes que me brindaron sus conocimientos.

A la PhD Susan Medina, por presentarme el programa de tesistas.

A la Magister Ingrid Rabitsch Musso por el apoyo, seguimiento, motivación y aportes en el proceso de elaboración de la tesis.

A la Doctora Olga Vadimovna Kostenko, por disponer de su tiempo para absolver mis dudas.

Al Doctor Gerber Zavala Ascaño por comentarios y aportes acertados.

A mi familia y amigos, por brindarme sus consejos, apoyo y tenerme paciencia durante todo el tiempo que duró el desarrollo del presente trabajo.

A mi enamorado, por el apoyo incondicional, la motivación, la preocupación y por ser el empuje necesario para cumplir con mis objetivos.

Contenido

I.	RESUMEN.....	6
II.	ABSTRACT	7
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
IV.	MARCO TEÓRICO	10
V.	OBJETIVOS / HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	13
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1	Materiales	14
4.2	Variables.....	14
4.3	Metodología	15
4.4	Criterio de Diseño de la mezcla asfáltica	18
4.5	Análisis Estadístico	19
VII.	RESULTADOS.....	20
7.1	Resultados obtenidos usando como filler la arcilla blanqueadora	20
7.2	Resultados obtenidos usando como filler la cal hidratada	22
7.3	Comparación de los resultados.....	24
7.4	Resultados de Vacíos de aire.....	28
VIII.	DISCUSIONES	30
IX.	CONCLUSIONES.....	32
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
XI.	ANEXOS.....	39

I. RESUMEN

En los países donde la industria pesquera se basa principalmente en generar productos derivados del pescado, una de sus actividades es el refinamiento de aceite de pescado, proceso que deja como desecho residual arcilla blanqueadora gastada. El presente trabajo de investigación busca demostrar que la arcilla blanqueadora gastada proveniente del refinamiento de aceite de pescado puede ser utilizada como sustituto alternativo del filler convencional de la mezcla de asfalto común. Se va a medir la estabilidad (resistencia) y el flujo (deformación) de la mezcla de asfalto utilizando filler convencional y filler alternativo (arcilla blanqueadora gastada). La investigación fue experimental pura, compara de las características de estabilidad y flujo de la mezcla de asfalto con el filler alternativo y con filler convencional, para elaborar la mezcla se realizó el diseño Marshall el cual evalúa dichos parámetros. Los resultados nos indican que el porcentaje óptimo de filler alternativo es de 1%, ya que al compararlo con la mezcla control, los resultados de los parámetros evaluados no varían significativamente como con el filler al 2% y 3%.

Palabras clave: arcilla blanqueadora gastada, cemento asfáltico, filler y diseño Marshall.

II. ABSTRACT

In countries where the fishing industry is mainly based on generating fish-derived products, one of its activities is the refining of fish oil, a process that leaves spent bleach clay as residual waste. The present research work seeks to demonstrate that the spent bleaching clay from the refining of fish oil can be used as an alternative substitute for the conventional filler of common asphalt mix. The stability (resistance) and flow (deformation) of the asphalt mix are to be measured using conventional filler and alternative filler (spend bleaching clay). The research was pure experimental, it compares the stability and flow characteristics of the asphalt mixture with the alternative filler and with the conventional filler, to elaborate the mixture, the Marshall design was carried out, which evaluates said parameters. The results indicate that the optimal percentage of alternative filler is 1%, since when comparing it with the control mixture, the results of the parameters evaluated do not vary significantly as with the filler at 2% and 3%.

Keywords: spent bleaching clay, asphalt cement, filler, and Marshall design.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Perú fue líder mundial de producción y abastecimiento de harina y aceite de pescado en el 2015 (Requejo, 2016, Erasquín, 2017), en los últimos años, ha producido y exportado aproximadamente entre 90,000 TM y 200,000 TM de aceite de pescado (PROMPERÚ, 2020, Erasquín, Vargas, et al, 2017), resultando en un incremento acelerado del volumen de residuos no comestibles de la pesca entre orgánicos e inorgánicos que incluyen vísceras, esqueletos, piel, aletas, arcilla blanqueadora, glicerol, entre otros. La inadecuada gestión de dichos residuos arrojados a vertederos a cielo abierto supone un problema ambiental, económico y de cumplimiento de la legislación (DIDITT, 2018, Hernández & Isturiz 2022).

El refinamiento de aceite de pescado requiere de un proceso en el cual se separa todo el contenido de agua y gran parte de sus aceites y grasas (FAO, 2018) donde se emplea del 3% al 4% de arcilla blanqueadora (Arroyo, 2005) y pasa a ser arcilla blanqueadora gastada. Se ha estimado que por cada 100 Kg de arcilla blanqueadora utilizada en el refinamiento puede encontrarse hasta 50 Kg de aceite, siendo un potencial contaminante del suelo, agua y aire (Loor & Jara, 2015).

Es inevitable el uso de la arcilla blanqueadora en la refinería de aceite de pescado a pesar de su alto valor en el mercado, su costo operativo y de disposición final (Loor & Jara, 2015). Estas adsorben compuestos tóxicos en el proceso productivo, como acetonas, aldehídos y aceites (inflamables), generando problemas a la atmósfera al combustionar. Además, representa un contaminante para el suelo, ríos, mares debido a su lenta degradación (Gorveña, 2015; Haro, et al, 2014). A pesar de lo dicho, este residuo tiene características físicas similares a las del relleno mineral utilizadas en la mezcla de asfalto, dicho material es necesario para rellenar vacíos, espesar la mezcla y mejorar la adherencia de los agregados de la mezcla de asfalto (AASHTO-M303, 1989).

El potencial de la arcilla blanqueadora gastada tras pasar por un tratamiento de secado y tamizado contribuye a las operaciones de valorización de material, mediante la transformación física del residuo sólido. La transformación de los residuos sólidos en nuevos insumos como parte del mecanismo de la economía circular, le permite a este residuo crearle un valor añadido para ingresar a nuevos procesos productivos como al

sector de manera que le brinda una oportunidad de incentivar el uso de residuos aprovechables (PNIPA, 2021, página 6; MMA, et al, 2020). Algunas empresas como Tecnológica de Alimentos S.A., Austral Group S.A.A. se han suscrito al Acuerdo de Producción Limpia (APL) para implementar acciones dirigidas a reducir y valorizar los RRSS.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Refinamiento de aceite de pescado

Según Bonilla (2018), debido a que el aceite de pescado contiene impurezas de carácter insoluble (producto de oxidación primaria, fosfolípidos, minerales, etc.), requiere un proceso de purificación con la finalidad de alcanzar características aceptables para el consumo humano. Dicho proceso consta de varias etapas: desgomado, neutralización, blanqueado, desodorización e hibernación, de ser requerida.

4.2 Arcilla blanqueadora gastada

También llamadas tierras adsorbentes o tierras blanqueadoras poseen morfología laminar (filosilicatos), son empleadas en estado natural o activadas mediante ácido con la finalidad de quitar la intensidad del color del aceite crudo, gracias a la gran fuerza de adsorción de contaminantes que poseen (Salazar, 2019). Su rendimiento se basa en la eliminación de fosfolípidos totales, iones metálicos, toxinas y un alto índice de decoloración (Alberto, 1997). Respecto al proceso de blanqueo, logran retener 30% del aceite durante el proceso de blanqueo (Oil Dri, 2011).

4.3 Cal hidratada

Según CERTIFIER MAYACERT (2012), el Hidróxido de Calcio con fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es un polvo blanco que se obtiene de la reacción de Óxido de Calcio con agua, también se puede obtener mediante precipitación al mezclar Cloruro de Calcio e Hidróxido de Sodio (pp. 1-2). Este material es ampliamente utilizado en distintos sectores industriales como, por ejemplo, metalurgia, química, construcción, alimentaria y protección ambiental.

4.4 Mezcla asfáltica caliente

Según Delgado (2020), es una combinación homogénea de material pétreo, cemento asfáltico y, eventualmente, puede presentar aditivos; desarrollada en una planta mezcladora de asfalto la cual realiza el calentamiento de los componente.

4.5 Diseño Marshall

Garmica et al (2005) afirman lo siguiente:

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½") de alto y 102 mm (4") de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto- agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

4.6 Filler (para la mezcla asfáltica)

EL filler o también llamado relleno es un componente mineral fino que sirve para modificar las propiedades de consistencia es decir el endurecimiento de una mezcla asfáltica y sus efectos están ligados a la cantidad de filler o tamaño de partícula que se le agregue a este (E-ASPHALT, 2005).

4.7 Estabilidad del asfalto

Según Terán (2015), la estabilidad del asfalto es la capacidad de resistencia a la deformación generada por la carga de tránsito que depende de la fricción y la cohesión interna de la mezcla. La fricción se relaciona con la forma y textura del agregado y la cohesión interna depende de la capacidad ligante del asfalto. La estabilidad permite mantener las propiedades de forma y lisura sin desarrollar ahuellamientos u otros cambios; por lo tanto, valores muy altos de estabilidad generan un pavimento con gran rigidez y menos durable.

4.8 Fluencia del asfalto

La fluencia es la deformación de una briqueta de asfalto y se refleja por la deformación de la circunferencia de la briqueta, esta característica se mide en centésimas de pulgada. Un valor muy alto de fluencia genera una mezcla con gran tendencia a la deformación con una carga de tránsito baja (Morales, 2012).

4.9 Asfalto 60/70

El asfalto es la combinación de compuestos orgánicos de elevado peso molecular y una proporción de hidrocarburos con un número de carbonos en su mayor parte superior a

C25. A su vez contiene pequeñas cantidades de metales como níquel, hierro o vanadio; residuo no volátil provenientes de la destilación del petróleo crudo (REPSOL, 2016, p. 2).

V. OBJETIVOS / HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Demostrar que la arcilla blanqueadora gastada, residuo del proceso del refinamiento de aceite de pescado, puede ser utilizada como sustituto alternativo del filler convencional de la mezcla de asfalto común.

Objetivos Específicos

1. Medir la estabilidad (resistencia) de la mezcla de asfalto utilizando filler convencional y filler de arcilla blanqueadora gastada.
2. Medir el flujo (deformación) de la mezcla de asfalto utilizando como filler convencional y filler de arcilla blanqueadora gastada.
3. Determinar si el asfalto caliente producido con arcilla blanqueadora gastada contiene menos vacíos de aire que la mezcla de asfalto común.

Hipótesis

Ho: La arcilla blanqueadora gastada proveniente de la refinería de aceite de pescado puede ser usada como alternativa del filler convencional.

Ha: La arcilla blanqueadora gastada proveniente de la refinería de aceite de pescado no puede ser usada como alternativa del filler convencional.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Para el desarrollo de este estudio se elaborarán mezclas asfálticas en caliente; compuestas con arena fina, piedra chancada, filler convencional y el betún asfáltico, mientras que para la mezcla asfáltica alternativa serán, arena fina, piedra chancada, betún asfáltico y la arcilla blanqueadora gastada. Los agregados áridos (arena fina, piedra chancada y filler) constituyen un 90% a 95% en peso de la mezcla, y entre 75% a 85%, en volumen. El betún asfáltico conforma alrededor del 5% y es aquel que adhiere los componentes áridos, se utilizará un betún considerado tradicional, “betún asfáltico 60/70”, que tiene una consistencia y punto de reblandecimiento intermedios para que la mezcla presente propiedades entre estabilidad y flexibilidad (Bardosano, 2014). La cantidad de los materiales son proporcionados a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. *Materiales para la mezcla de asfalto, con filler convencional y arcilla blanqueadora gastada.*

Materiales	Unidades	Materiales	Unidades
Arena fina	100 kg	Arena fina	100 kg
Piedra chancada	100 kg	Piedra chancada	100 kg
Betún asfáltico 60/70	7.58 mm ³	Betún asfáltico 60/70	7.58 mm ³
Cal hidratada	2.5 kg	Arcilla blanqueadora gastada	2.5 kg

Elaboración: Fuente propia

4.2 Variables

El presente trabajo cuenta con dos variables dependientes y dos variables independientes, que se relacionan entre sí. Las variables dependientes (Y) son estabilidad y flujo, las cuales son parámetros que deben cumplir como requisitos de la mezcla asfáltica caliente; por lo que son variables categóricas y las variables independientes (X) son los diferentes tipos de filler, las cuales modificarán los resultados de las variables dependientes (ver tabla 2).

Tabla 2. Variables dependientes e independientes.

Variables	
Y1	Estabilidad (resistencia)
Y2	Flujo (deformación)
X1	Filler convencional, cal hidratada (%)
X2	Filler alternativo, arcilla blanqueadora gastada (%)

Elaboración: Fuente propia

4.3 Metodología

El estudio realizará dos mezclas asfálticas en caliente, en la primera se utilizará filler convencional (polvo mineral) y en la segunda se usará arcilla blanqueadora gastada, ambas serán añadidas en tres porcentajes distintos. Los materiales se llevarán a un laboratorio para realizar el diseño de Marshall y los ensayos que determinan la calidad de la mezcla asfáltica.

4.3.1 Tamaño de la muestra

El peso de la muestra será de 1200 g aproximadamente para cada briqueta (testigo), según las dimensiones de la briqueta indicadas en la MTC E 1101. Las concentraciones de filler a utilizar para cada una de las mezclas asfálticas será 1%, 2% y 3%.

4.3.2 Pretratamiento del filler alternativo

El filler alternativo arcilla blanqueadora gastada, debe seguir los siguientes pasos:

Secado del agregado: La arcilla de blanqueo gastada debe reducir su humedad para no afectar la mezcla final, para lo cual es pesada en una balanza analítica y secada a 50°C en una estufa por un periodo de 4 horas. El procedimiento se repite hasta que el peso no varíe significativamente.

Tamizado: Se trituran los terrones de arcilla blanqueadora gastada seca para ser tamizado en el tamiz de 125 micras, luego se reserva la muestra en una bolsa ziploc para ser llevada al laboratorio donde se elaborará el asfalto.

4.3.3 Análisis de Calidad de los agregados

Según el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013, junio 2013), para pavimentos asfálticos en caliente deben cumplir con:

Análisis de Calidad del agregado árido grueso

Para el análisis de calidad de agregado árido grueso según la MTC E 204, consta de los siguientes análisis para la piedra chancada:

- a) Abrasión Los Ángeles, es el contenido de agregado grueso según la MTC E 207-2007, donde indica que se debe tener 40% como máximo de piedra chancada.
- b) Absorción de agregado grueso y su peso específico, determinada según la MTC E 206-2016, es un ensayo que realiza una serie de mediciones de peso y volumen del material saturado (en agua) y en seco (en aire) con el fin de determinar la absorción que debe ser como máximo 1,0%.
- c) Partículas chatas y alargadas, identificará el porcentaje de partículas chatas y alargadas, según la MTC E 223-2016, la cual no debe ser mayor del 10%.
- d) Método de ensayo estándar para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, según la MTC E 210-2016 (Caras fracturadas), debe ser de 85/50% como mínimo para una y dos caras correspondientemente.
- e) Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio, las cuales determinaran la durabilidad del agregado grueso según la MTC E 209, donde indica que no debe superar el 18% como máximo.
- f) Prueba de ensayo estándar para el índice de durabilidad del agregado según la MTC E 214-2016 (índice de durabilidad), el cual debe ser como mínimo 35%.
- g) Método de ensayo de normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo, según la NTP 339.152 que indica que no debe ser mayor a 0.5%.
- h) Revestimiento y desprendimiento de mezcla de agregado – betún, según la MTC E 517-2016 (Adherencia), debe ser mayor a 95%. En caso salga menor se puede hacer uso de un aditivo para que mejore la adherencia.

Análisis de Calidad del agregado árido fino

El análisis de calidad de agregado fino según la MTC E 204, consta de los siguientes análisis para la arena chancada:

- a) Determinar el límite plástico (L.P.) e índice de plasticidad (I.P.) según la MTC E 111-2016, la cual pasa por la malla N° 200, no debe pasar del límite 4. Junto a este se realiza la determinación del límite líquido de suelos, según la MTC E 110-2016.
- b) Valor equivalente de arena de suelo y del agregado fino, según la MTC E 114-2016, donde se indica que debe tener como mínimo 60% de arena fina para cumplir con los requerimientos.
- c) Gravedad específica y absorción de agregado fino, según la MTC E 205-2016, no debe superar el 0,5% como máximo.
- d) Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio según la MTC E 209-2016, debe ser 18% como máximo.
- e) Prueba de ensayo estándar para determinar el índice de durabilidad del agregado según la MTC E 214-2016; como mínimo debe ser 35%.
- f) Angularidad del agregado fino, según la MTC E 222-2016, debe ser 30%.
- g) Método de ensayo para la determinación del contenido de sales soluble en suelo, según la NTP 339.152 que indica que no debe ser mayor a 0.5%.
- h) Método estándar de ensayo para la detección cualitativa de arcillas dañinas esméctica del agregado usando azul de metileno, según la AASHTO TP 57-01.
- i) Adhesividad de los ligantes bituminosos con los áridos finos (procedimiento Riedel-weber), según la MTC E 220-2016 como mínimo debe ser de grado 4. En caso no cumpla se debe añadir un mejorador de adherencia.

Análisis granulométrico de los materiales

Se pesarán los agregados gruesos y finos, según como pasen por las aberturas de los tamices, con el fin de realizar una gráfica granulométrica de la fracción. Se realizará la gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC) 2, donde se espera tener una granulometría continua. Granulometría donde los áridos se ubican en todos los tamaños de las mallas. Finalmente se realizará la curva granulométrica.

4.3.4 Procedimiento

El procedimiento para elaborar la mezcla asfáltica en caliente es el siguiente:

Mezcla de agregados: Calentar el betún asfáltico a 145°C hasta que esté fluido y se mezclará con los agregados áridos. Se añadirá el filler alternativo y el convencional al 1%, 2% y 3%; teniendo 6 tazones, 3 tazones con arcilla convencional al 1%, 2% y 3% c/u y 3 tazones con arcilla alternativa al 1%, 2% y 3% c/u. Estos serán mezclados con el 4.5%, 5%, 5.5% y 6% de betún asfáltico 60/70 hasta su homogenización. El betún fue elegido según la normativa “Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 del MTC” para pavimentos que se someterán a temperaturas de 15°C a 24°C.

Molde de los agregados: La mezcla de arena fina, piedra chancada y betún asfáltico se somete al horno a 145°C y se colocará en las briquetas. Posteriormente se colocarán los moldes en la mesa de trabajo y se colocará una hoja filtro en la parte superior del cilindro (diámetro poco menor que el molde).

Ensayo de estabilidad: se extraerá el collar a cada muestra. Se compactarán las briquetas con 75 golpes por lado (Marshall MTC E 504), cantidad de golpes según la clase de mezcla A para tráfico alto o tráfico pesado. Se retirará el molde, el collar y la base; y se deja a temperatura ambiente hasta que enfríe.

Ensayos volumétricos: Se desmoldará la briqueta para pesarlo en seco, luego se sumergirá por 5 minutos en agua para pesarlo en agua y en seco nuevamente. Mediante estos se determinará el volumen de vacíos en el agregado, vacíos de aire y asfalto absorbido, según la normativa ASTM D-3203

Ensayo de flujo: Tras sumergirse las briquetas en baño maría a 90°C por 30 a 40 minutos, se determinará la resistencia a la deformación plástica de cada briqueta mediante la máquina de tracción.

4.4 Criterio de Diseño de la mezcla asfáltica

El diseño de Marshall nos permite determinar los porcentajes de agregados gruesos, agregados finos, del betún asfáltico y del filler convencional / arcilla blanqueadora gastada. Los ensayos se realizan con cuatro porcentajes de betún asfáltico (PEN 60/70): 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% sobre el peso de la mezcla asfáltica. Las concentraciones

establecidas del filler son: 1%, 2% y 3%. Considerar las siguientes referencias porcentuales aproximadas para una mezcla de asfalto de 1250 gramos.

Tabla 3. *Cantidades de agregados para filler (cal hidratada y arcilla blanqueadora gastada) al 1%.*

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJES (%)
Arena chancada	56%
Piedra chancada	43%
Filler	1%
Total	100%

Elaboración: Fuente propia

Tabla 4. *Cantidades de agregados para filler (cal hidratada y arcilla blanqueadora gastada) al 2%.*

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJES (%)
Arena chancada	55%
Piedra chancada	43%
Filler	2%
Total	100%

Elaboración: Fuente propia

Tabla 5. *Cantidades de agregados para filler (cal hidratada y arcilla blanqueadora gastada) al 3%.*

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJES (%)
ARENA CHANCADA	54%
PIEDRA CHANCADA	43%
FILLER (Cal Hidratada)	3%
TOTAL	100%

Elaboración: Fuente propia

4.5 Análisis Estadístico

El presente estudio es experimental puro, se realizará el análisis de los datos obtenidos de los resultados de los ensayos de las mezclas de asfalto con filler alternativo y filler convencional al 1%, 2% y 3%. Previamente los data obtenida de los ensayos de las mezclas asfálticas serán evaluados con los estándares de la Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 del Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC) para verificar su estabilidad (resistencia) y flujo (deformación); y compáralos entre ellos para determinar el porcentaje de filler óptimo para la mezcla.

VII. RESULTADOS

Las mezclas asfálticas elaboradas con el diseño Marshall para carga de tráfico pesado con porcentajes de filler al 1%, 2% y 3% de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada, obtuvieron los resultados descritos más adelante. Los datos obtenidos son comparados con las Manual EG-2013 del Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC). Se realizó el ensayo con una variación de contenido de asfalto de +/- 0.3 % debido ya que en campo no se puede tener la precisión de un contenido de asfalto del 5.5%, de esta manera se verifica que la mezcla cumpla los parámetros a pesar de que varíe el contenido de asfalto en un 0.3%. Se eligió el contenido de asfalto al 5.5% ya que este es el porcentaje óptimo de la mezcla.

7.1 Resultados obtenidos usando filler alternativo (arcilla blanqueadora)

Las siguientes tres tablas corresponden a las mezclas de asfalto con filler de arcilla blanqueadora.

Tabla 6. Características Marshal para filler (arcilla blanqueadora gastada) al 1%.

CARACTERÍSTICAS MARSHALL				
Nº DE GOLPES		75		
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (%)		5.2	5.5	5.8
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTMD-1188)		2.377	2.385	2.387
ESTABILIDAD (lb) (ASTMD-1559)		2194	2221	2218
FLUJO (0.01*) (ASTMD-1559)		13.0	13.6	13.8
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTMD-3203)		4.8	4.1	3.6
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTMD-1559)		16.5	16.3	16.2
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTMD-1559)		71.2	75.1	77.8
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTMD-1559)		3016	2927	2862
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)		0.9	0.9	0.8

Tabla 7. Características Marshal para filler (arcilla blanqueadora gastada) al 2%.

CARACTERÍSTICAS MARSHALL			
Nº DE GOLPES	75		
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.2	5.5	5.8
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.362	2.369	2.369
ESTABILIDAD (lb) (ASTMD-1559)	2131	2147	2140
FLUJO (0.01*) (ASTMD-1559)	12.8	13.4	13.9
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTMD-3203)	4.7	4.0	3.5
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTMD-1559)	16.5	16.3	16.2
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTMD-1559)	71.6	75.1	77.8
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTMD-1559)	2980	2857	2742
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)	0.9	0.9	0.8

Tabla 8. Características Marshal para filler (arcilla blanqueadora gastada) al 3%.

CARACTERÍSTICAS MARSHALL			
Nº DE GOLPES	75		
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.2	5.5	5.8
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.327	2.340	2.350
ESTABILIDAD (lb) (ASTMD-1559)	2019.1	2033	2006
FLUJO (0.01*) (ASTMD-1559)	12.4	13.1	13.6
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTMD-3203)	5.4	4.5	3.6
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTMD-1559)	17.1	16.7	16.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTMD-1559)	68.3	72.9	77.8
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTMD-1559)	2901	2769	2634
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)	0.9	0.9	0.8

Los resultados obtenidos para todos los parámetros cumplen con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 del MTC de la mezcla utilizando filler alternativo al 1%, 2% y 3%.

Los resultados obtenidos para la Estabilidad mínima de 8,15 kN (1832.19 lb), los resultados de Flujo con rango de 8-14 y los resultados de la relación Estabilidad/Flujo de rango 1.700-4.000 kg/cm, se encuentran dentro de los parámetros aceptables para las mezclas al 1%, 2% y 3% de filler alternativo.

El porcentaje de Vacíos de aire con rango de aceptación de 3-5%; los resultados de Vacíos de agregado mineral (V.M.A) de 16% como mínimo; los resultados de Vacíos llenos de asfalto con rango de aceptación de 70-80%, y la relación Polvo-Asfalto de rango 0,6-1,3 se encuentra dentro los parámetros aceptables para la mezcla de asfalto al 1%, 2% y 3% de filler alternativo.

La variación de resultados de la tabla al 1% con la del 2% de arcilla blanqueadora es poca pero comparada a la tabla de 3% se puede observar una reducción en la estabilidad y aumento del flujo notable a comparación con las otras dos muestras. En los resultados al 3% cuando el volumen del asfalto es del 5.2%, se observa que los vacíos de aire son resultan al 5.4% saliéndose del rango de 3 a 5%, descartando la dicha mezcla, también se puede observar que disminuye la estabilidad que es la rigidez de la mezcla acercándose mucho al límite de los requerimientos para la Estabilidad mínima de 8,15 kN (1832.9 lb). La relación Estabilidad/Flujo ha ido disminuyendo, lo que quiere decir que la arcilla blanqueadora gastada, plastifica la mezcla asfáltica, pudiendo deformar el pavimento asfáltico.

7.2 Resultados obtenidos usando filler convencional (cal hidratada)

Las siguientes tres tablas corresponden a las mezclas de asfalto con cal hidratada.

Tabla 9. Características Marshal para filler (cal hidratada) al 1%.

CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
Nº DE GOLPES	75		
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.2	5.5	5.8
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.392	2.399	2.399
ESTABILIDAD (lb) (ASTMD-1559)	2188	2214	2218
FLUJO (0.01*) (ASTMD-1559)	12.6	13.3	13.9
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTMD-3203)	4.7	4.0	3.6
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTMD-1559)	16.6	16.4	16.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTMD-1559)	71.7	75.1	78.3
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTMD-1559)	3099	2984	2848
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)	0.9	0.9	0.8

Tabla 10. Características Marshal para filler (cal hidratada) al 2%.

CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
Nº DE GOLPES	75		
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.2	5.5	5.8
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.392	2.399	2.399
ESTABILIDAD (lb) (ASTMD-1559)	2410	2427	2402
FLUJO (0.01*) (ASTMD-1559)	12.5	13.1	13.7
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTMD-3203)	4.5	3.8	3.4
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTMD-1559)	16.4	16.2	16.1
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTMD-1559)	72.3	76.0	78.9
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTMD-1559)	3451	3309	3131
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)	1.1	1.0	1.0

Tabla 11. Características Marshal para filler (cal hidratada) al 3%.

CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
Nº DE GOLPES	75		
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.2	5.5	5.8
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.398	2.406	2.410
ESTABILIDAD (lb) (ASTMD-1559)	2656	2661.4	2599
FLUJO (0.01*) (ASTMD-1559)	11.9	12.6	13.2
VACÍOS DE AIRE (%) (ASTMD-3203)	4.2	3.4	2.8
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A) (%) (ASTMD-1559)	16.1	15.8	15.6
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%) (ASTMD-1559)	73.8	78.0	81.7
ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm) (ASTMD-1559)	3979	3769	3511
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)	1.3	1.2	1.1

Los resultados obtenidos para todos los parámetros cumplen con las Especificaciones Técnicas del MTC utilizando filler alternativo al 1%, 2% y 3%.

Los resultados obtenidos para la Estabilidad mínima de 8,15 kN (1832.19 lb), los resultados de Flujo con rango de 8-14 y los resultados de la relación Estabilidad/Flujo de rango 1.700-4.000 kg/cm, se encuentran dentro de los parámetros aceptables al 1%, 2% y 3% de filler convencional.

El porcentaje de Vacíos con aire de rango de aceptación de 3-5%; los resultados de Vacíos de agregado mineral (V.M.A) de 16% como mínimo para su aceptación; los resultados de Vacíos llenos de asfalto con rango de aceptación de 70-80%, así como la relación Polvo-Asfalto de 0,6-1,3 se encuentra dentro de los parámetros de aceptación de la mezcla de asfalto al 1%, 2% y 3% de filler convencional.

Al aumentar el porcentaje de arcilla blanqueadora gastada, se puede observar que aumenta la estabilidad que es la rigidez de la mezcla y el flujo que él es parámetro de evalúa la flexibilidad de la mezcla disminuye esto se debe a que la cal hidratada tiene la propiedad de endurecer. La relación Estabilidad/Flujo también ha aumentado, lo que quiere decir que la cal hidratada, rigidiza la mezcla asfáltica. La variación de los resultados de las muestras al 1% y 2% de filler convencional no afectan la mezcla ya que son valores cercanos.

En la muestra al 3% de filler convencional, se observa que el resultado de la relación Estabilidad/Flujo al 5.2% de contenido asfalto es 3979 kg/cm dicho resultado se encuentra muy cerca del límite de no sobrepasar los 4,000 kg/cm; también se observa que a la relación Polvo-Asalto al 5.2% de contenido de asfalto, tiene como resultado 1.3, el cual se encuentra al límite del rango de aceptación de 0.6-1.3, por lo que la mezcla con 3% de filler es descartada como porcentaje óptimo de filler para ambas muestras. Debido a que el ensayo con filler convencional no cuenta con las mejores características no será usada para compararla con la muestra con filler alternativo.

7.3 Análisis comparativo de los resultados

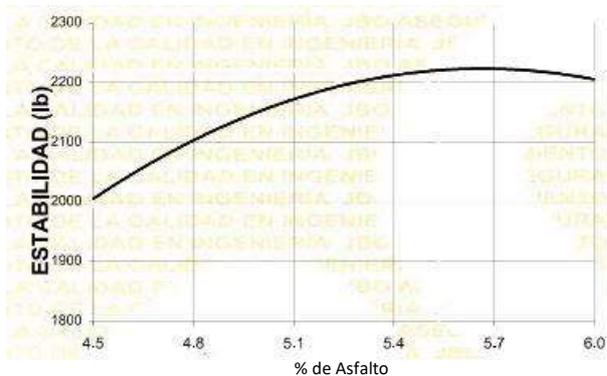
Las siguientes tres tablas muestran la comparación de los dos filler arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 1%, 2% y 3%. Las muestras comparadas son al 5.5% de contenido de asfalto, debido que es el porcentaje óptimo para la mezcla.

Tabla 12. Análisis comparativo de las características de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 1%.

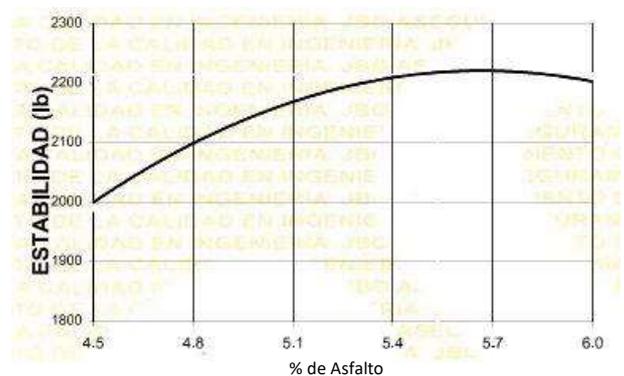
CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
FILLER		CAL HIDRATADA	ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO	(%)	5.5	
PESO ESPECÍFICO	(g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.399	2.385
ESTABILIDAD	(lb) (ASTMD-1559)	2214	2221
FLUJO	(0.01*) (ASTMD-1559)	13.3	13.6
VACÍOS DE AIRE	(%) (ASTMD-3203)	4.0	4.1
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%) (ASTMD-1559)	16.4	16.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%) (ASTMD-1559)	75.1	75.1
ESTABILIDAD/FLUJO	(Kg/cm) (ASTMD-1559)	2984	2927
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)		0.9	0.9

Gráfica 1. Análisis comparativo de la estabilidad de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 1%.

Arcilla blanqueadora gastada

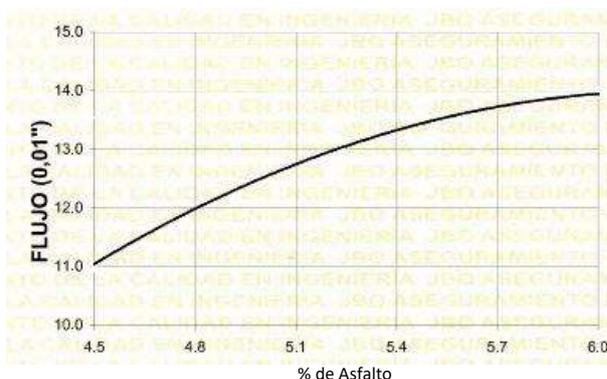


Cal hidratada

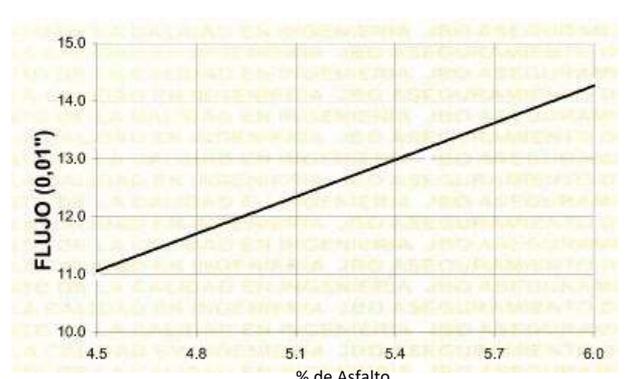


Gráfica 2. Análisis comparativo del flujo de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 1%.

Arcilla blanqueadora gastada



Cal hidratada



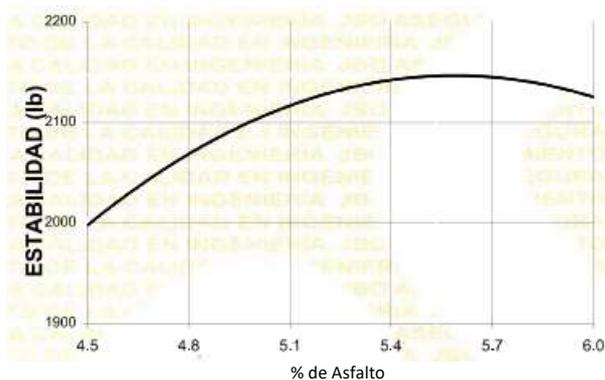
Se puede observar que los parámetros de la mezcla asfáltica alternativa no presentan cambios abruptos comparados con la mezcla convencional. Lo que indica que se puede usar la arcilla blanqueadora al 1%, ya que esta no se ha visto alterada su característica de estabilidad y flujo.

Tabla 13. Análisis comparativo de las características de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 2%.

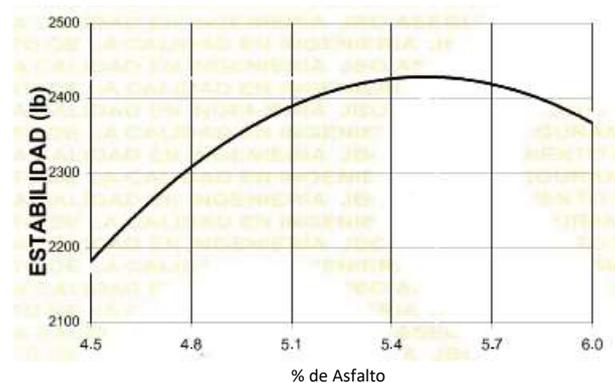
CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
FILLER		CAL HIDRATADA	ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO	(%)	5.5	
PESO ESPECÍFICO	(g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.399	2.369
ESTABILIDAD	(lb) (ASTMD-1559)	2427	2147
FLUJO	(0.01*) (ASTMD-1559)	13.1	13.4
VACÍOS DE AIRE	(%) (ASTMD-3203)	3.8	4.0
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%) (ASTMD-1559)	16.2	16.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%) (ASTMD-1559)	75.0	75.1
ESTABILIDAD/FLUJO	(Kg/cm) (ASTMD-1559)	3309	2857
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)		1.0	0.9

Gráfica 3. Comparación de la estabilidad de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 2%.

Arcilla blanqueadora gastada

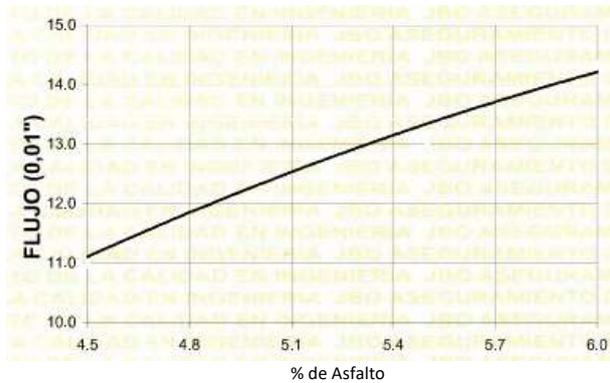


Cal hidratada

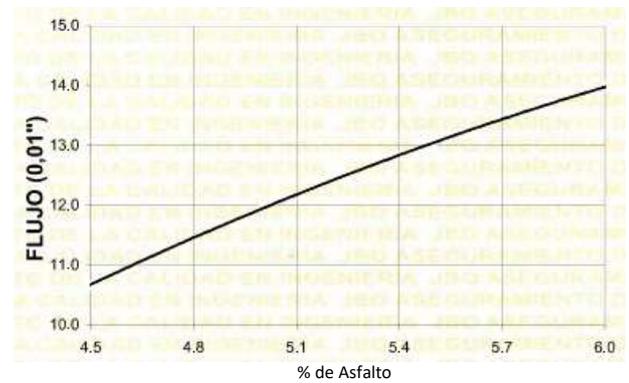


Gráfica 4. Análisis comparativo de flujo de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 2%.

Arcilla blanqueadora gastada



Cal hidratada



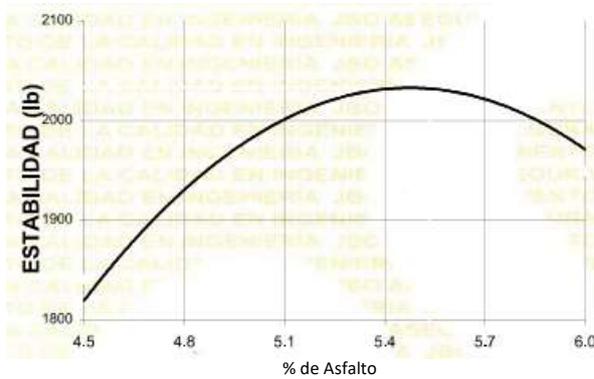
Los resultados muestran que la estabilidad ha disminuido en 280 lb, que es una cantidad considerable y es perjudicial. Además, el flujo ha aumentado y la relación estabilidad/flujo ha disminuido en 452 kg/cm que también es considerado significativo. Por lo que la arcilla de blanqueo al 2% no le da la misma resistencia al usar cal.

Tabla 14. Análisis comparativo de las características de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 3%.

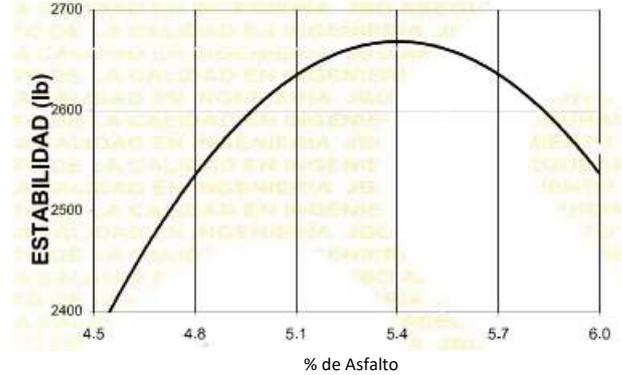
CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
FILLER		CAL HIDRATADA	ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA
PESO DEL CONTENIDO DE ASFALTO	(%)	5.5	
PESO ESPECÍFICO	(g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.406	2.340
ESTABILIDAD	(lb) (ASTMD-1559)	2661.4	2033
FLUJO	(0.01*) (ASTMD-1559)	12.6	13.1
VACÍOS DE AIRE	(%) (ASTMD-3203)	3.4	4.5
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%) (ASTMD-1559)	15.8	16.7
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%) (ASTMD-1559)	78	72.9
ESTABILIDAD/FLUJO	(Kg/cm) (ASTMD-1559)	3769	2769
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)		1.2	0.9

Gráfica 5. Análisis comparativo de la estabilidad de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 3%.

Arcilla blanqueadora gastada

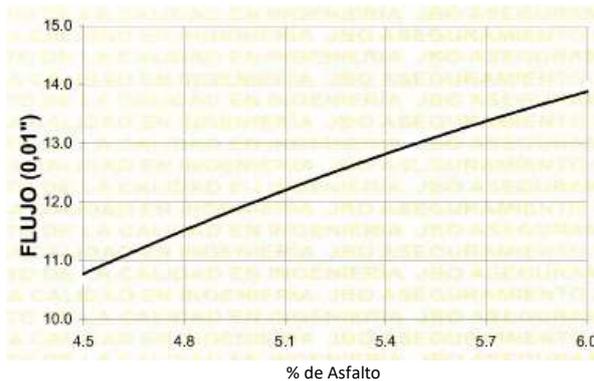


Cal hidratada

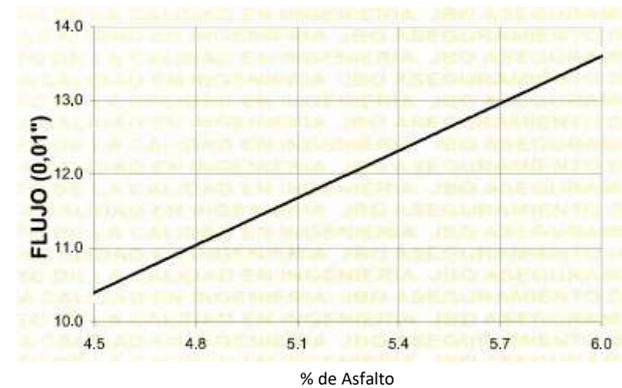


Gráfica 6. Análisis comparativo del flujo de las mezclas de los filler de arcilla blanqueadora gastada y cal hidratada al 3%.

Arcilla blanqueadora gastada



Cal hidratada



Los resultados muestran que la estabilidad ha disminuido en 600 lb, que es una cantidad considerable y es perjudicial. El flujo ha aumentado y la relación estabilidad/flujo ha disminuido en 1,000 kg/cm que también es considerado significativo y perjudicial, además que en ambos casos algún parámetro no cumple. En el caso del contenido de 3% de cal hidratada, la relación polvo-asfalto al 5.2% de asfalto resulta un valor límite de 1.3; y al 3% de arcilla blanqueadora gastada a 5.2% de asfalto, el parámetro de vacíos de aire no cumple, resultando con el 5.4%. Por lo que agregar 3% de la arcilla de blanqueo al producto disminuye la resistencia que le da la cal y se descarta esta opción.

7.4 Resultados de Vacíos de aire

El ensayo de vacíos de aire producida con arcilla blanqueadora contiene un porcentaje de vacíos de aire menor que la producida con filler de arcilla blanqueadora.

Tabla 15. Vacíos de aire de la mezcla de asfalto elaborado con arcilla blanqueadora y con cal hidratada al 1% y asfalto al 5.5%

CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL						
FILLER	CAL HIDRATADA			ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA		
CONTENIDO DE FILLER	1%	2%	3%	1%	2%	3%
VACÍOS DE AIRE	4	3.8	3.4	4.1	4	4.5
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	16.4	16.2	15.8	16.3	16.3	16.7
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	75.1	76	78	75.1	75.1	72.9

Los resultados obtenidos para medir los vacíos del aire demuestran que, al aumentar el porcentaje de arcilla blanqueadora, disminuye el porcentaje de vacíos de aire y aumenta el de vacíos llenos de asfalto, mientras que, en caso de cal hidratada, al aumentar el porcentaje de este, los vacíos de aire de aumenta (considerando que los resultados de las muestras al 1% y 2% son muy similares) y los vacíos llenos de asfalto han disminuido. Esto indica que el filler alternativo reduce el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica.

VIII. DISCUSIONES

Los resultados demuestran que se puede usar la arcilla blanqueadora gastada, residuo del proceso de refinamiento de aceite de pescado, como sustituto alternativo en la mezcla asfáltica. Al agregar 1% y 2% de filler alternativo, la mezcla cumple con los requisitos del Diseño de Marshall.

El presente estudio demostró que la hipótesis se cumple. De acuerdo con los resultados obtenido es posible usar arcilla de blanqueo gastada para la mezcla asfáltica a gran escala, sin embargo, el filler alternativo requiere de un pretratamiento, el cual consiste en el secado, trituración y tamizado; resultando laborioso su tratamiento.

La arcilla blanqueadora al 1% es la mejor alternativa ya que los resultados de estabilidad y flujo se asemejan a la mezcla asfáltica convencional con 1% de cal hidratada. Usar un porcentaje mayor de arcilla blanqueadora como al 2% o al 3% resultó en la pérdida de la estabilidad y viscosidad de la mezcla; también demostró requerir un mayor contenido de betún asfáltico para que la mezcla sea óptima.

La reducción de los residuos sólidos en estado sólido o semisólidos debe estar orientada al desarrollo y uso de tecnologías, así como métodos y prácticas de tratamiento para reaprovechar estos, promover la experimentación e investigación con residuos para maximizar su valor y reducir su peligrosidad, así mejorando el manejo de residuos en los sectores industriales como pesquería y las actividades vinculadas a la generación de ellos.

Sangiorgi et al. (2016) utilizó arcilla blanqueadora con contenido de aceite vegetal, sus resultados fueron satisfactorios, dicha investigación fijó el contenido de betún asfáltico a un 5,1% el cual es 0.4% menos que el contenido de asfalto óptimo de 5.5% del presente trabajo. El porcentaje de filler del autor fue de 5% sobre el peso de los áridos, dicho porcentaje es mucho mayor al porcentaje elegido en el presente trabajo y eso se debe a que el autor ha considerado el filler contenido de la arena; y adicionalmente agregó el filler alternativo y el convencional. Por lo cual en la presente investigación se agregó como filler alternativo la arcilla blanqueadora gastada al 1%, 2% y 3%.

En la MTC E 220 indica que para la mezcla asfáltica el porcentaje de arcilla debe ser 0%, sin embargo, con el mínimo porcentaje de arcilla del 1% se demuestra que se puede obtener una mezcla óptima.

En la tabla 12, se puede observar que la mezcla alternativa al 1% de filler (arcilla blanqueadora gastada) en comparación con la mezcla convencional al 1% de filler (cal hidratada) tiene similares características de estabilidad y flujo, dichos ensayos tienen similares resultados. Mientras que en la tabla 13, la mezcla alternativa al 2% de filler (arcilla blanqueadora gastada), redujo su estabilidad y aumento su flujo en comparación con la mezcla convencional con cal.

En el siguiente cuadro se comparan las mezclas de asfalto alternativa al 2% y 1% de filler de arcilla blanqueadora. Se puede notar que al aumentar el filler los resultados de la estabilidad han desmejorado y el flujo ha aumentado. Por lo cual el porcentaje de filler de la mezcla debe estar en el rango de 1% a 2% para no perjudicar las características de la mezcla.

CARACTERÍSTICAS DE MARSHALL			
FILLER		ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA 1%	ARCILLA BLANQUEADORA GASTADA 2%
CONTENIDO DE ASFALTO EN PESO	(%)	5.5	
PESO ESPECÍFICO	(g/cm ³) (ASTMD-1188)	2.385	2.369
ESTABILIDAD	(lb) (ASTMD-1559)	2221	2147
FLUJO	(0.01*) (ASTMD-1559)	13.6	13.4
VACÍOS DE AIRE	(%) (ASTMD-3203)	4.1	4.0
VACÍOS AG. MINERAL (V.M.A)	(%) (ASTMD-1559)	16.3	16.3
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	(%) (ASTMD-1559)	75.1	75.1
ESTABILIDAD/FLUJO	(Kg/cm) (ASTMD-1559)	2927	2857
RELACIÓN POLVO-ASFALTO (*)		0.9	0.9

El proponer mecanismos enfocados en la economía circular, mediante la implementación de tecnologías limpias que reduzcan las emisiones de carbono y sean ecoeficientes, promueve el compromiso con la sostenibilidad ambiental, la valorización de residuos y generan nuevos mercados. La sinergia de distintos sectores de darle valor a sus residuos y buscar alternativas de insumos que reduzcan el impacto apoyan a las buenas prácticas ambientales y contribuyen a la Producción Limpia.

IX. CONCLUSIONES

1. La arcilla blanqueadora gastada, residuo del proceso de refinamiento de aceite de pescado, puede ser utilizada como sustituto alternativo del filler convencional de la mezcla de asfalto común. El porcentaje óptimo de arcilla blanqueadora gastada para utilizar como filler es el 1%. La mezcla asfáltica obtenida con 1% de arcilla blanqueadora fue muy similar a la muestra con filler de cal hidratada.
2. La arcilla blanqueadora gastada agregada como filler al 1% proporciona a la mezcla asfáltica mayor flujo y mayor flexibilidad, propiedades que evitan el agrietamiento del pavimento.
3. Al agregar arcilla blanqueadora gastada como filler, la estabilidad de la mezcla asfáltica se disminuye ligeramente y para lograr estabilidad aceptable es de suma importancia elegir correctamente el porcentaje de filler.
4. El asfalto caliente producido con arcilla blanqueadora al 1% no reduce el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica.
5. Para determinar el porcentaje de filler se debe tener en cuenta la cantidad de betún asfáltico para mantener la mezcla dentro de las características óptimas.
6. Al aumentar el porcentaje de filler alternativo, arcilla blanqueadora gastada se reducen los vacíos de aire y aumentan los vacíos llenos de asfalto.
7. El uso de arcilla blanqueadora residual del proceso de refinamiento de aceite de pescado que será utilizada en la producción de la mezcla de asfalto a mayor escala permitirá reducir los costos de su disposición final, siendo una opción ambientalmente favorable.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberto, B. (1997). Oxidación de lípidos y antioxidantes. Medellín. Recuperado de

Arroyo J.L, (2005). Planta de Refino de aceites vegetales en el término municipal de las Moradillas, en Valenciana (Córdoba). (Proyecto fin de carrera). Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla. Recuperado el 22 de octubre de 2019, de http://bibing.us.es/proyectos/buscar/luis+arroyo/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2019///1

Bardosano, R. (2014). FAQ: guía de empleo de betunes asfálticos (I). Recuperando el 11 de noviembre de 2020, de: <http://paveing.blogspot.com/2014/11/faq-guia-de-empleo-de-betunes-I.html>

Blankendaal, T., Schuur, P., & Voordijk, H,. (2013). Reducción del impacto ambiental del hormigón y el asfalto: un enfoque de escenario. *Journal of Cleaner Production*.

BONILLA-MENDEZ, Jeimmy Rocío y HOYOS-CONCHA, José Luis.Methods of extraction refining and concentration of fish oil as a source of omega-3 fatty acids. *Corpoica cienc. tecnol. agropecu.* [online]. 2018, vol.19, n.3, pp.645-668. ISSN 0122-8706. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:684_

Cayetana, A. (s.f.). Economía circular en la pesca: del discurso a la acción. Recuperado el 10 de noviembre de 2020, de <https://www.snp.org.pe/economia-circular-en-la-pesca-del-discurso-a-la-accion/>

CERTIFIER MAYACERT (2012). Política de uso de la cal en producción orgánica

Che M, (2010). Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture. Recuperado el 16 de noviembre de 2019 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810004265>

CONAMA (1998). Guía para el control y prevención de comisión industrial – Fabricación de grasas y aceites vegetales y subproductos. República de Chile

Cortez, J, Guzmán, h., & Reyes, A. (2007). Guía básica de diseño y control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente. (Trabajo de titulación). Universidad de El

Salvador. Recuperado el 18 de noviembre de 2019 de:
<http://ri.ues.edu.sv/4474/1/Gu%C3%ADa%20b%C3%A1sica%20de%20dise%C3%B1o%20control%20de%20producci%C3%B3n%20y%20colocaci%C3%B3n%20de%20mezclas%20asf%C3%A1lticas%20en%20caliente.pdf>

Decreto Legislativo N° 1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Diario Oficial del Bicentenario El Peruano, Perú, 23 de diciembre de 2016. Recuperado el 12 de febrero de 2020 de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>

Decreto Supremo N° 003-2020-PRODUCE. Decreto Supremo que aprueba la Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria. Recuperado el 16 de diciembre de 2022 de: <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-aprueba-la-hoja-de-ruta-hacia-una-econom-decreto-supremo-n-003-2020-produce-1856966-1>

Decreto Supremo No 003-2013-VIVIENDA (2013). Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las actividades de la Construcción y Demolición. Diario Oficial del Bicentenario El Peruano, Perú. Recuperado el 04 de diciembre de 2020 de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-para-la-gestion-y-manejo-de-los-residuos-decreto-supremo-n-003-2013-vivienda-899557-2/>

Delgado, H. (2020). Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito. Querétaro: Instituto mexicano del transporte. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt602.pdf>

DIDITT (2018). Boletín de vigilancia tecnológica: pesca, N°01-2018 “Residuos de la Pesca: aprovechamiento y valor agregado”. Recuperado el 10 de noviembre de 2020 de: https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/PESCA_001-2018.pdf

DIGESA (2006). Gestión de Residuos Sólidos en el Perú. Recuperado el 13 de diciembre de 2019 de:
<http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/MANUAL%20TECNICO%20RESIDUOS.pdf>

E-ASPHALT. (2005). Mezclas de asfaltos y Fillers. <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>

Erausquín, L., Vargas, C., Randich, R., Medina, V., Sattui, S. (2017). Aceite de pescado desodorizado. Universidad del Pacífico. Recuperado el 5 de junio de 2020 de: http://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/1857/Rolando_Tesis_Maestria_2017.pdf?sequence=5&isAllowed=y

FAO (2018). El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2018. *Cumplir con el objetivo de desarrollo sostenible*. Roma. Recuperado el 12 de noviembre de 2019.

Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J.A., Alonso, S. & Alonso, H. (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezcla asfáltica.

Garnica, P., Delgado, H., Sandoval, C. (2005) Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. Querétaro: Instituto mexicano del transporte.

PROMPERÚ (2020). Desempeño Vimiento del Comercio Exterior. Recuperado el 30 de marzo del 2022 de: <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/desenvolvimiento-comercio-exterior-pesquero-acuicola-2020.pdf>

Gorveña, R. (2015). Reaprovechamiento de los subproductos provenientes de la refinación de aceite lubricante usado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperado el 21 de diciembre de 2019 de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/230/B2-M-18408.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hamid, J., Mohammad, K., Hamed, N., & Fereidoon, N. (2019). Hormigón asfáltico sostenible que contiene pavimentos asfálticos altamente reciclados y agentes de reciclaje: evaluación del desempeño, análisis de costos e impacto ambiental. *ScienceDirect*.

Haro, C.A. (2012). Diseño Conceptual de una Planta de Recuperación de Arcillas de Blanqueo Empleadas en la Decoloración de Aceites Vegetales Comestibles. (Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero). Escuela Politécnica Nacional. Recuperado

el 12 de noviembre de 2019, de

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4559/1/CD-4175.pdf>

Haro, C., De la Torre, E., Aragón, c., & Guevara, A. (2014). Regeneración de Arcillas de Blanqueo Empleadas en la Decoloración de Aceites Vegetales Comestibles. *EPN*, VOL. 34 NO.1

Hernandez, J & Isturiz, J. (2022). Alternativas de recuperación, reúso, reciclaje y disposición de final de la tierra de blanqueo gastadas en el proceso de refinación del aceite vegetal. Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Venezuela, Recuperado de <file:///C:/Users/Admin/Downloads/3866-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4119-1-10-20220429.pdf>

Khoeini, S., Dessouky, S., Papagiannakis, A.T., Walubita, L., Amid S., & Mohammadreza, G. (2019). Uso de mezclas a base de polímeros como alternativa a las mezclas de asfalto en carreteras de bajo volumen. *ScienceDirect*. 204.177–183.

Loor, V. & Jara, D. (2015). Recuperación de aceite en tierra de blanqueo usada a través de extracción con solventes para obtener biodiesel. (Trabajo de titulación previo a la obtención de título). Universidad de Guayaquil. Recuperado el 22 de octubre de 2019, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12676/1/Tesis%20Biodiesel.pdf>

Martinez, P., & Higuera-Sandoval, C. (2016). Evaluación de mezclas asfálticas reciclables con aditivos: Una alternativa de reducción de impactos económicos y ambientales. *Ingenio Magno*, 7(2), 10-24.

Mezcla asfáltica en caliente (HMA). (2017). Recuperado el 12 de febrero de 2020 de <https://ingenieriaelemental.com/mezclas-asfalticas-caliente-hma/>

Min, C., Yong, K., Hyeok, K., & Jae, L. (2018). Evaluación de rendimiento del uso de cenizas volantes de combustible derivadas de neumáticos como relleno mineral en hormigón asfáltico de mezcla en caliente. *ScienceDirect*.

MMA, MINECOM, CORFO & ASCC (2020). Hoja de Ruta Nacional a la Economía Circular para un Chile Sin Basura 2020-2040. Chile. Recuperado de <https://economiecircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/12/Propuesta-Hoja-de-Ruta-Nacional-a-la-Economia-Circular-para-un-Chile-sin-Basura-2020-2040.pdf>

Morales (2012). Mezcla Asfáltica en Caliente Utilizando Asfalto Modificado, Revisión y Propuesta de Especificación. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala. Recuperado de

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/5116/1/Carlos%20Arnoldo%20Morales%20Rosales.pdf>

MTC (2013). Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción. Recuperado 6 de marzo del 2021.

OIL DRI Corporation of América (2011) Pure flo: Bleaching earths. Chicago

Ortiz, A. (2017). Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el 15 de diciembre de 2019 de:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6833/2/OrtizManceraAngieLorenaAnexo-1.pdf>

PROPERU (2018). *Informe Anual 2018 desenvolvimiento del comercio pesquero y acuícola*. Lima. Recuperado el 12 de noviembre de 2019.

<http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/DP2018%20VFinal.pdf>

PNIPA (octubre, 2021). Economía Circular en el Sector Pesca. Recuperado de [file:///C:/Users/Admin/Downloads/Boleti%CC%81n%205 Yakuat Economiar_VF.pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/Boleti%CC%81n%205%20Yakuat%20Economia%20Circular_VF.pdf)

REPSOL (2016) Nota informativa de seguridad de producto cemento asfáltico 60/70 RELAPASA.

Requejo, J.C. (13 de febrero de 2016) El Perú se afianza como primer abastecedor de harina de pescado. *El Peruano*. Recuperado el 6 de noviembre de 2019, de <https://elperuano.pe/noticia-el-peru-se-afianza-como-primerabastecedor-harina-pescado-38223.aspx>

Rosli, M., Chew, J., Jamshidi, A., Yang, X. &, Othman M. (2019). Revisión de la sostenibilidad, el pretratamiento y las consideraciones de ingeniería de los modificadores de asfalto de los desechos sólidos industriales. ScienceDirect. 209 – 244.

Salazar, J. (2019). Evaluación de la reutilización de tierras provenientes de la etapa de blanqueo en la refinación del aceite de palma. Bogotá

Sangiorgi, C., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G., (2014). Waste bleaching clays in hot bituminous mixtures. Italia: Bologna. *ScienceDirect*, 73, 320 – 325.

Sangiorgi, C., Tataranni, P., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G., (2016). Assessment of waste bleaching clay as alternative filler to produce porous asphalt. *ScienceDirect* 109, 1-7.

Standard Method Test for Testing Lime for Asphalt Mixtures, (2019). AASHTO M 303-89.

Rodrigo, T., Flores, P., Flores, M., Flores V., & Mairon K. (2014). Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos. *Aplicaciones de la Ingeniería*.

Terán (2015). Diseño de Mezcla asfáltica en Calidad Utilizado Agregados de la Mina Cashpamba con metodología, Universidad Internacional del Ecuador. Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2208/1/T-UIDE-1257.pdf>

Veronesi, M., Rigaud, A., Binet, T., Barthélemy, C., & Lab, V. (2019). La economía circular en las zonas pesqueras y acuícolas. FARNET Guía #17. Recuperado el 10 de noviembre de 2020, de https://webgate.ec.europa.eu/fpfis/cms/farnet2/sites/farnet/files/publication/es_farnetguide17.pdf

Wozuk A., Bandura L., & Franus W. (2018). Cenizas volantes como relleno de bajo costo y respetuoso con el medio ambiente y su efecto sobre las propiedades del asfalto mixto. *ScienceDirect*. 235 (2019) 493 – 502.

XI. ANEXOS

11.1 Requisitos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

11.2 Requisitos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

11.3 Requerimiento para agregado fino - Adherencia Riedel Weber

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3.000	> 3.000
Adherencia Riedel Weber	MTC E 220	>4 %	>4 %

11.4 Requerimientos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

11.5 Vacíos llenos con asfalto (VFA)

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	VFA
≤0,3	70-80
>0,3-3	65-78
>3	65-75

11.6 Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (¾")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

11.7 Fotos del pesado de la muestra de arcilla blanqueadora gastada



11.8 Fotos secado de la arcilla blanqueadora



11.9 Fotos triturado de la arcilla blanqueadora



11.10 Fotos tamizado de la arcilla blanqueadora



11.11 Fotos los agregados áridos





11.12 Fotos de los agregados árido más el peso del betún asfáltico 60/70



11.13 Fotos de las mezclas del asfalto con los agregados finos



11.14 Fotos de prueba de adherencia del asfalto



11.15 Fotos briqueta con mezcla asfáltica



11.16 Fotos de la compactación de la mezcla asfáltico en la briqueta



11.17 Fotos sumergimiento de la mezcla asfáltica en agua



11.18 Fotos de pesado de las mezclas compactadas



11.19 Fotos ensayo de Marshall



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 071 -2021-DACIA-DAFCA-U. CIENTÍFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 1 de marzo del 2021

VISTO:

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Estudio experimental del uso de la arcilla blanqueadora gastada como alternativa para la producción de la mezcla de asfalto**, presentado por:

- **Gamarra Condemarin Teresa**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Estudio experimental del uso de la arcilla blanqueadora gastada como alternativa para la producción de la mezcla de asfalto** con N° de registro: **140-2020-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Olga Vadimovna Kostenko** como asesor(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental