

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL



**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ESTUDIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CICLOVÍAS
AÑADIENDO UN PORCENTAJE DE FIBRA DE CELULOSA
OBTENIDA PRINCIPALMENTE DE DESECHOS SANITARIOS NO
TÓXICOS**

AUTORES:

ANA BEATRIZ CANDO SALAZAR

LUIS DAVID MANCERO NIETO

DIRECTOR:

ING. WILSON CANDO

QUITO, ABRIL, 2022

RESUMEN

Hoy en día, uno de los problemas más evidentes es la contaminación ambiental, por esto es necesario conocer, el manejo inadecuado que se les da a los desechos, el cual repercute en la calidad de vida, puesto que, este daño tiene efectos negativos tanto como para la salud de las personas como para el planeta Tierra, por este motivo se necesita realizar algo de manera urgente para poder reducir el impacto que el ser humano está causando, para ello se han ideado estrategias para disminuir el mismo.

En el mundo de la construcción, ya sea para vías, edificios, entre otros, la tecnología ha avanzado a pasos agigantados, por el simple hecho de que la población ha crecido considerablemente, por ende, han aumentado las necesidades de los habitantes.

Al hablar del crecimiento poblacional se debe tomar en cuenta de la problemática referente a la movilidad y transporte que genera la misma, teniendo calles y avenidas saturadas, asumiendo que el transporte es fundamental para el crecimiento de la economía y movilidad para una población, por este motivo, la ingeniería civil busca soluciones, creando vías alternas de transportes, como es la ciclovía.

La ingeniería civil ha tomado conciencia respecto al impacto ambiental que el hombre está causando, por este motivo, ha intentado implementar desechos a diferentes mezclas que ayudan a la construcción, ya sea de casas, edificios o ciclovías, por este motivo, este estudio se enfocará en la reutilización de la fibra de celulosa obtenida a partir de los desechos sanitarios no tóxicos para la elaboración de mezcla asfáltica para ciclovías.

Los resultados que se obtienen en este trabajo, indican que las fibras de celulosa que se obtienen de los desechos sanitarios no tóxicos no alteran de manera considerable las propiedades que debe tener comparado a una mezcla para ciclovías tradicional.

METODOLOGIA

En la actualidad, es de suma importancia el cuidado del medio ambiente, puesto que el ser humano produce un gran número de desechos que contaminan y agotan los recursos de una forma rápida y devastadora para el planeta. Por este motivo, las personas se ven obligadas a reutilizar varios materiales, por consiguiente se disminuirán los desechos, por lo tanto, gracias al reciclaje se pueden tomar varios de los mismos tanto de hogares y demás puntos urbanos para poder agruparlos según su composición y así darles un nuevo y mejor fin.

Este estudio se realizó con el fin de poder obtener un pavimento amigable con el medio ambiente para ciclovías, a través de la implementación de desecho sanitarios no tóxicos.

Como producto final se obtiene una nueva mezcla asfáltica la cual se someterá a los distintos ensayos que determinen las propiedades mecánicas del mismo, de esta manera será compararla con el diseño tradicional mezclas asfálticas de ciclovías y determinar si es viable la elección de esta.

Para iniciar este estudio es importante recopilar datos del material con el que se trabajará, datos que se obtendrán del Ministerio del Ambiente, por consiguiente, esto nos dará un panorama de la cantidad de material que se produce en el Ecuador y en base a esto podremos determinar si dichos datos hacen de esta idea un proyecto viable.

Para realizar la mezcla el agregado será sometido a varios ensayos como gravedad específica, desgaste a los sulfatos, abrasión con la máquina de Los Ángeles, granulometría, según corresponda si es agregado fino o grueso. Los resultados que se obtenga en estos ensayos serán comparados con los indicadores que solicitan las normas ASTM, AASHTO e INEN, para asegurar la calidad de los materiales. (Aulestia & Chávez, 2017)

Para la obtención del porcentaje óptimo de asfalto, se realizarán 3 briquetas, una vez que se obtenido el porcentaje óptimo del asfalto por el método de RAMCODES se realizarán 9 briquetas, las cuales tendrán un porcentaje de celulosa (2%, 3% y 4%) para la respectiva comparación entre el proceso tradicional y la mezcla asfáltica modificada aumentando la celulosa.

Para realizar los ensayos ya mencionados, se utilizarán agregados provenientes

de la mina de Holcim.

La construcción de ciclovías en óptimas condiciones, seguras y con un pavimento adecuado para satisfacer las necesidades de los usuarios, implica que quienes nos dedicamos al desarrollo de infraestructura vial pongamos una atención muy especial en dichas características y en el producto final. Lo más importante es que la superficie de rodamiento de una ciclovía sea suave y cómoda para el manejo de la bicicleta. (Clarín, 2018)

Tabla de contenido

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Generalidades | 9 |
| 1.1. | Introducción..... | 9 |
| 1.2. | Justificación | 10 |
| 1.3. | Alcance | 11 |
| 1.4. | Objetivos | 11 |
| 1.4.1. | Objetivo general | 11 |
| 1.4.2. | Objetivos específicos..... | 11 |
| 1.5. | Antecedentes | 11 |
| 2. | Marco teórico de las mezclas asfálticas ecológicas | 12 |
| 2.1. | Definición de mezcla asfáltica | 12 |
| 2.1.1. | Tipo de mezclas asfálticas | 13 |
| 2.2. | Ciclovías, características, concepción y diseño de mezclas asfálticas. | 16 |
| 2.5.1. | Proceso de obtención de la materia prima(celulosa) en Latinoamérica | 22 |
| 3.1.1. | Material pétreo | 24 |
| 3.2. | Descripción y origen del material | 24 |
| 3.3.1. | Agregado grueso..... | 25 |
| 3.3.2. | Agregado fino..... | 28 |
| 3.3.2.2. | Análisis granulométrico de agregados..... | 31 |
| 3.5.1. | Diseño con el polígono de vacíos de RAMCODES. | 36 |
| 3.8. | Emulsiones asfálticas..... | 45 |
| 3.9. | Ensayos de la Emulsión Asfáltica | 47 |
| 3.10.1. | Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica | 57 |
| 4. | Diseño de la mezcla Asfáltica | 58 |
| 4.1. | Cálculo de la combinación de agregados..... | 58 |
| 4.2. | Cálculo de la gravedad específica de la combinación de agregados. | 60 |
| 4.2.1. | Obtención del porcentaje teórico de la emulsión asfáltica..... | 71 |
| 4.2.2. | Obtención del porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica. | 72 |
| 4.2.3. | Ensayos volumétricos mezcla asfáltica tradicional. | 73 |
| 4.2.4. | Ensayos volumétricos mezcla asfáltica modificada. | 76 |
| 4.3. | Análisis y evaluación de resultados de laboratorio y costos. | 78 |
| 5. | Conclusiones y recomendaciones | 86 |
| 6. | Bibliografía | 89 |
| 7. | Anexos | 91 |
| | Figura 3. 1 Ilustración de cómo se grafican las abscisas..... | 32 |
| | Figura 3. 2 Graduación de máxima densidad para tamaño máximo de 19 mm | 32 |
| | Figura 3. 3 Abertura de malla, mm | 33 |
| | Figura 3. 4 Polígono de Vacíos | 38 |
| | Figura 3. 5 Ensayo de Penetración | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 3. 6 Maquina de Ductilidad..... | 41 |
| Figura 3. 7 Ensayo Punto de ablandamiento | 44 |
| Figura 3. 10 Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica..... | 47 |
| | |
| Fórmula 3. 1 Gravedad específica neta del agregado..... | 26 |
| Fórmula 3. 2 Gravedad específica en condición saturada y superficialmente seca..... | 26 |
| Fórmula 3. 3 Gravedad específica aparente | 26 |
| Fórmula 3. 4 Absorción..... | 26 |
| Fórmula 3. 5 Porcentaje de residuo | 53 |
| Fórmula 3. Vacíos de aire | 57 |
| Fórmula 3. Vacíos en el agregado mineral..... | 57 |
| Fórmula 3. Vacíos llenos de Asfalto | 57 |
| | |
| Fórmula 4. 1 Gravedad específica de la combinación de agregados..... | 61 |
| Fórmula 4. 2 Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica..... | 62 |
| Fórmula 4. 3 Gravedad específica efectiva | 62 |
| Fórmula 4. 4 Densidad Bulk de la mezcla | 63 |
| Fórmula 4. 5 Gravedad específica Bulk de la mezcla | 66 |
| Fórmula 4. 6 Gravedad específica Bulk de la mezcla | 67 |
| Fórmula 4. 7 Asfalto de la mezcla..... | 67 |
| Fórmula 4. 8 Residuo de Asfalto..... | 71 |
| Fórmula 4. 9 Porcentaje teórico de emulsión asfáltica..... | 72 |
| Fórmula 4. 10 Gravedad específica compactada..... | 73 |
| Fórmula 4. 11 Vacíos de Aire | 75 |
| Fórmula 4. 12 Vacíos del agregado..... | 75 |
| Fórmula 4. 13 Vacíos del agregado mineral..... | 75 |
| Fórmula 4. 14 Vacíos llenos de asfalto | 76 |
| | |
| Fotografía 3. 1 Ubicación planta Holcim | 25 |
| Fotografía 3. 2 Ensayo de Gravedad Especifica..... | 27 |
| Fotografía 3. 3 Equivalente de arena..... | 29 |
| Fotografía 3. 4 Gravedad específica Agregado fino..... | 30 |
| Fotografía 3. 5 Absorción del Agregado fino..... | 30 |
| Fotografía 3. 6 Granulometría agregado grueso..... | 35 |
| Fotografía 3. 7 Granulometría agregado fino | 35 |
| Fotografía 3. 8 Niveles de diseño para mezclas asfálticas | 37 |
| Fotografía 3. 9 Preparación de muestras | 42 |
| Fotografía 3. 10 Ensayo Ductilidad..... | 42 |
| Fotografía 3. 11 Ensayo Ductilidad..... | 43 |
| Fotografía 3. 12 Maquina Punto de Ablandamiento | 44 |
| Fotografía 3. 13 Viscosímetro Rotacional..... | 45 |
| Fotografía 3. 14 Resultados Viscosímetro Rotacional | 45 |
| Fotografía 3. 15 Preparación de la Emulsión Asfáltica..... | 48 |
| Fotografía 3. 16 Ensayo de Carga de Partícula | 49 |
| Fotografía 3. 17 Ensayo de Carga de Partícula | 49 |
| Fotografía 3. 18 Ensayo Carga de partícula | 50 |
| Fotografía 3. 19 Retenido en el tamiz 200 | 51 |
| Fotografía 3. 20 Retenido en el tamiz 200 | 51 |
| Fotografía 3. 21 Viscosidad de la Emulsión..... | 52 |
| Fotografía 3. 22 Ensayo de Viscosidad..... | 52 |
| Fotografía 3. 23 Residuo de Asfalto..... | 53 |
| Fotografía 3. 24 Residuo de Asfalto pensando la muestra | 54 |
| Fotografía 3. 25 Residuo de Asfalto al horno | 54 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 3. 26 Residuo de asfalto enfriamiento | 55 |
| Fotografía 3. 27 Residuo de asfalto removiendo..... | 55 |
| Fotografía 3. 28 Residuo de asfalto después de 24 horas..... | 56 |
| | |
| Fotografía 4. 1 Selección del material..... | 70 |
| Fotografía 4. 2 Trituración en licuadora..... | 70 |
| Fotografía 4. 3 Desinfección con el uso de detergente y lejía..... | 70 |
| Fotografía 4. 4 Mezclado de material con agentes desinfectantes | 71 |
| Fotografía 4. 5 Colado y Proceso de secado | 71 |
| Fotografía 4. 6 Briquetas mezcla tradicional, 2 y 3 % de celulosa para realizar ensayos | 74 |
| Fotografía 4. 7 Ensayos Densidad Bulk | 74 |
| Fotografía 4. 8 Secado muestras Densidad Bulk..... | 75 |
| | |
| Gráfica 4. 1 Curva granulométrica | 60 |
| Gráfica 4. 2 Curva de saturación o función Rice | 64 |
| Gráfica 4. 3 Familia de curvas de vacíos de aire..... | 65 |
| Gráfica 4. 4 Familia de curvas de vacíos en el agregado mineral | 66 |
| Gráfica 4. 5 Familia de curvas de vacíos llenados con asfalto..... | 68 |
| Gráfica 4. 6 Elaboración del Polígono de Vacíos | 72 |
| Gráfica 4. 7 % Celulosa vs Densidad Bulk (Porcentaje óptimo) | 79 |
| Gráfica 4. 8 % Celulosa vs Vacíos de aire (Porcentaje óptimo) | 80 |
| Gráfica 4. 9 % Celulosa vs Vacíos de agregado mineral (Porcentaje óptimo)..... | 80 |
| Gráfica 4. 10 % Celulosa vs Vacíos llenos de asfalto (Porcentaje óptimo) | 81 |
| | |
| Tabla 3. 1 Ubicación Planta de Holcim..... | 24 |
| Tabla 3. 2 Tamices para Superpave | 31 |
| Tabla 3. 3 Graduación para mezclas Superpave..... | 33 |
| Tabla 3. 4 Especificaciones de gráfica de Fuller para un tamaño máximo nominal de 19mm ... | 34 |
| Tabla 3. 5 Especificaciones de gráfica de Fuller para un tamaño máximo nominal de 12.5mm | 34 |
| Tabla 3. 6 Niveles de diseño de mezclas Superpave | 56 |
| Tabla 3. 7 Criterio para VAM | 58 |
| Tabla 3. 8 Criterio para VFA | 58 |
| | |
| Tabla 4. 1 Porcentajes de proporción de agregados | 59 |
| Tabla 4. 2 Curva Granulométrica | 59 |
| Tabla 4. 3 Composición en peso de cada briqueta | 60 |
| Tabla 4. 4 Resumen de gravedades de los agregados..... | 61 |
| Tabla 4. 5 Porcentajes de vacíos de aire..... | 64 |
| Tabla 4. 6 Vacíos de aire VA | 65 |
| Tabla 4. 7 Vacíos en el agregado mineral (VAM) | 66 |
| Tabla 4. 8 Vacíos llenos de asfalto..... | 67 |
| Tabla 4. 9 Gravedades específicas y Especificaciones de vacíos..... | 72 |
| Tabla 4. 10 Resultados de ensayos Densidad Bulk Mezcla Tradicional | 74 |
| Tabla 4. 11 Resultados Vacíos de aire | 75 |
| Tabla 4. 12 Resultados Vacíos del agregado mineral | 76 |
| Tabla 4. 13 Resultados Vacíos llenos de asfalto | 76 |
| Tabla 4. 14 Resultados de ensayos Densidad Bulk Mezcla Modificada | 76 |
| Tabla 4. 15 Resultados Vacíos de Aire, briquetas 2% | 76 |
| Tabla 4. 16 Resultados Vacíos de Aire, briquetas 3% | 77 |
| Tabla 4. 17 Resultados Vacíos de Agregado, briquetas 2% | 77 |
| Tabla 4. 18 Resultados Vacíos de Agregado, briquetas 3% | 77 |
| Tabla 4. 19 Resultados Vacíos de agregado mineral, briquetas 2% | 77 |

| | |
|--|----|
| Tabla 4. 20 Resultados Vacíos de agregado mineral, briquetas 3% | 77 |
| Tabla 4. 21 Resultados Vacíos llenos de asfalto, briquetas 2% | 77 |
| Tabla 4. 22 Resultados Vacíos llenos de asfalto, briquetas 3% | 78 |
| Tabla 4. 23 Pesos para elaboración de briquetas mezcla tradicional | 78 |
| Tabla 4. 24 Pesos para elaboración de briquetas mezcla modificada..... | 78 |
| Tabla 4. 25 Resumen de parámetros volumétricos mezcla modificada | 78 |
| Tabla 4. 26 Porcentajes de briqueta con porcentaje óptimo de celulosa | 79 |
| Tabla 4. 27 Parámetros volumétricos de nuestras briquetas | 81 |
| Tabla 4. Módulos de rigidez de briquetas ensayadas | 82 |
| Tabla 4. 29 Material para la elaboración de una briqueta mezcla tradicional | 82 |
| Tabla 4. 30 Porcentajes y pesos del agregado mineral..... | 82 |
| Tabla 4. 31 Material para la elaboración de 1 m ³ de mezcla tradicional | 83 |
| Tabla 4. 32 Porcentajes y pesos del agregado mineral para 1 m ³ de mezcla tradicional..... | 83 |
| Tabla 4. 33 Presupuesto de materiales para la elaboración de 1m ³ de mezcla tradicional | 83 |
| Tabla 4. 34 Material para la elaboración de una briqueta mezcla modificada con celulosa | 83 |
| Tabla 4. 35 Porcentajes y pesos del agregado mineral..... | 84 |
| Tabla 4. 36 Material para la elaboración de 1 m ³ de mezcla modificada con celulosa | 84 |
| Tabla 4. 37 Porcentajes y pesos del agregado mineral para 1 m ³ de mezcla modificada con celulosa..... | 84 |
| Tabla 4. 38 Costos de producción de 1 Kg de celulosa, Método Casero | 84 |
| Tabla 4. 39 Presupuesto de materiales para la elaboración de 1m ³ de mezcla modificada con celulosa..... | 85 |

1. Generalidades

1.1. Introducción

En la actualidad, es de suma importancia el cuidado del medio ambiente, puesto que, el ser humano produce un gran número de desechos que contaminan y agotan los recursos de una forma rápida y devastadora para el planeta. Por este motivo, las personas se ven obligadas a reutilizar varios materiales, por consecuente se disminuirán los desechos, por lo tanto, gracias al reciclaje se pueden tomar varios de los mismos tanto de hogares y demás puntos urbes para poder agruparlos según su composición y así darles un nuevo y mejor fin.

Este estudio se realizó con el fin de poder obtener un pavimento amigable con el medio ambiente para ciclovías, a través de la implementación de desecho sanitarios no tóxicos.

Como producto final se puede obtener una nueva mezcla asfáltica la cual se someterá a los distintos ensayos que determinen las propiedades mecánicas del mismo, de esta manera podremos compararla con el diseño tradicional mezclas asfálticas de ciclovías y determinar si es viable la elección de esta.

Para iniciar este estudio es importante recopilar datos del material con el que se trabajará, datos que se obtendrán del Ministerio del Ambiente, por consecuente, esto nos dará un panorama de la cantidad de material que se produce en el Ecuador y en base a esto podremos determinar si dichos datos hacen de esta idea un proyecto viable.

Para realizar la mezcla el agregado será sometido a varios ensayos como gravedad específica, desgaste a los sulfatos, abrasión con la máquina de Los Ángeles, granulometría, según corresponda si es agregado fino o grueso. Los resultados que se obtenga en estos ensayos serán comparados con los indicadores que solicitan las normas ASTM, AASHTO e INEN, para asegurar la calidad de los materiales. (CHÁVEZ ROMERO & AULESTIA VISCARRA, 2017).

Para realizar los ensayos ya mencionados, se utilizarán agregados provenientes de la mina de Holcim.

La construcción de ciclovías en óptimas condiciones, seguras y con un pavimento adecuado para satisfacer las necesidades de los usuarios, implica que quienes se dedican al desarrollo de infraestructura vial pongamos una atención muy especial en dichas características y en el producto final. Lo más importante es que la superficie de rodamiento de una ciclovía sea suave y cómoda para el manejo de la bicicleta. (Clarín, 2018)

1.2. Justificación

En la actualidad se debe tener en cuenta la problemática que se vive con el uso de desechos y el efecto que causan estos en el medio ambiente, en el país se ha querido incentivar un correcto fin que se le puede dar a estos, sin embargo, la gente desconoce de los beneficios que se puede obtener con estas medidas. A lo largo de la última década se han ido innovando estudios y nuevas tecnologías constructivas con el fin de poder tener una relación más amigable con el medio ambiente y la construcción de los pavimentos.

Esta disertación busca reemplazar el diseño tradicional de las mezclas asfálticas, con el fin de poder generar una alternativa sustentable que sea amigable con el medio ambiente, para ello, se utilizará desechos sanitarios no tóxicos, enfocándonos solamente en el uso de papel higiénico reciclado.

A lo largo de los últimos años se ha intentado fomentar la conciencia ambiental, la cual consiste en la diferenciación a la hora de colocar los desechos en los diferentes tipos de tachos, sin embargo, se ha venido realizando de una manera errónea, puesto que nos han presentado este concepto sin la motivación y la información indicada para poder realizar este procedimiento, es por ello que la implementación de nuestra investigación debe ser el punto de partida a un incentivo para que la gente cree conciencia y este consciente de los beneficios que se pueden dar a largo plazo ya sea para la comunidad como para el medio ambiente.

Los desechos sanitarios no tóxicos, al considerarse un desecho en la mayoría de los casos, se propone a darle un uso dentro de la fabricación de asfaltos, lo que genera un efecto doblemente positivo: darles un uso a estos desechos disminuyendo su impacto ambiental y creando materia prima eficaz en la utilización de pavimentos para ciclovías.

Y finalmente para su utilización como un material sustentable se debe someter a una revisión para la construcción, producción y costos con el fin de poder saber si usando desechos no tóxicos sanitarios, para la elaboración de asfalto para ciclovías puede llegar a ser una innovación en nuestro país, la cual nos ayude a reemplazar en el asfalto tradicional, por uno que sea más amigable con el medio ambiente.

1.3. Alcance

En el presente trabajo se realiza para poder implementar nuevos procesos constructivos y productivos para el desarrollo de la ciudad de Quito tanto social como ambiental en la realización de ciclovías, puesto que los agregados a utilizarse para la mezcla asfáltica en este proyecto son los mismos de la localidad, por lo tanto, para la aplicación en otros sectores se deberá realizar los respectivos ensayos y diseños de mezclas utilizando la cantidad respectiva de los materiales disponibles de cada zona. Finalmente llegando a la conclusión del objetivo principal que es determinar su funcionalidad como un asfalto sustentable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Implementar en la mezcla de la carpeta asfáltica desechos sanitarios no tóxicos para obtener un asfalto amigable con el medio ambiente en las ciclovías.

1.4.2. Objetivos específicos

- Implementar la introducción en la mezcla asfáltica desechos sanitarios no tóxicos (papel higiénico reciclado), utilizando la metodología implementada en ciclovías en los Países Bajos (Holanda).
- Determinar los costos de la mezcla asfáltica añadiendo desechos sanitarios no tóxicos (papel higiénico reciclado) y comparar con una mezcla normal de ciclovías.
- Evaluar y comparar las características físico-mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales vs la mezcla asfáltica utilizando desechos sanitarios (papel higiénico reciclado).

1.5. Antecedentes

La utilización del desecho sanitario no tóxico para la elaboración de la mezcla asfáltica es un tema relativamente nuevo, no tiene mucha investigación dentro del país, sin embargo, en los países bajos (Holanda) ya se tiene investigaciones realizadas, inclusive hay ciclovías ya construidas con esta metodología las mismas que nos servirán como guía para nuestra disertación de grado tanto en la parte teórica como en la elaboración de la mezcla asfáltica, estas opciones alternas que son amigables con el

medio ambiente, se vienen presentando en respuesta a la excelente gestión de desechos que tienen estos países y con ello dar un buen rehúso al mismo, es por eso que nuestra idea es implementar esta técnica constructiva, puesto que, el tema de los desechos sanitarios no tóxicos en nuestro país no tiene un fin específico, por este motivo se presenta un problema con el medio ambiente, también se tiene una gran dificultad para la gestión correcta del uso de los mismos. En nuestro país la empresa Familia Institucional nos facilitara la materia prima (celulosa reciclada) para elaborar nuestra mezcla asfáltica. Al tratarse de un asfalto ecológico se recopilará información de investigaciones realizadas sobre asfaltos verdes, ya sean de disertaciones de pregrado, artículos científicos, y libros.

2. Marco teórico de las mezclas asfálticas ecológicas

2.1. Definición de mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas o también denominadas por el nombre de aglomerados están compuestas por material pétreo y un ligante hidrocarbonato, haciendo que los materiales pétreos queden cubiertos por una capa delgada que sea continua del ligante. Estas se pueden fabricar en plantas ya sean fijas o móviles. (Carlos Preciado, 2013)

Los requerimientos para realizar una mezcla asfáltica surgen del diseño de la estructura del pavimento, existen varios métodos para realizar este procedimiento como es la AASHTO del año 1993, sin embargo, hoy en día se tiene un método de diseño de tipo mecanicista, este consiste en tener en cuenta el tipo de clima como la lluvia, sol, nieve, entre otros, también se incorpora al cálculo los distintos tipos de materiales, como son las propiedades y calidad de los materiales, otra variable importante utilizada es el tipo y cantidad de tráfico vehicular, todas estas variables se utilizan para respuesta de esfuerzos y la producción de deformaciones, con esto obtendremos un desempeño con el cual se podrá realizar el diseño del pavimento.

Estas mezclas asfálticas son utilizadas para la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros, también se debe tener en cuenta que se utilizan para la capa inferior de los pavimentos para tráfico pesado. (Carlos Preciado, 2013)

Las mezclas asfálticas se componen de aproximadamente un 90% de agregados pétreos grueso, un 5% de polvo mineral o también conocido como filler y el 5% restante es de ligante asfáltico. Se debe tener en cuenta que estos materiales son de suma importancia para obtener un correcto funcionamiento del pavimento, por ello, si

tenemos algún material pétreo de mala calidad afecta de manera negativa al conjunto. Es de gran importancia saber que el asfalto y el polvo mineral son los elementos más influyentes en cuanto a la calidad de la mezcla asfáltica. (Carlos Preciado, 2013)

Una mezcla asfáltica debe ser resistente a deformaciones plásticas, el cual es uno de los fenómenos más comunes que se presentan en las carreteras, por lo regular en las partes superiores, también es necesario que cumpla con la resistencia al fenómeno de fatiga, el cual produce un rompimiento o agrietamiento al asfalto, el cual se da desde la parte inferior hasta llegar a la parte superior, esto es por una repetición de carga, y por último la mezcla asfáltica debe ser resistente al daño por humedad.

2.1.1. Tipo de mezclas asfálticas

2.1.1.1. Mezclas asfálticas en caliente

Se define como mezcla asfáltica (bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla. El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra.

Existen varios métodos de diseño, por lo general el método más común utilizado en Ecuador y Latinoamérica es Método Marshall, sin embargo, también se utiliza el Método Superpave. (Zúñiga, 2015), sin embargo, para esta disertación se va a utilizar un método nuevo llamado polígono de vacíos RAMCODES, desarrollado en el año 2002 por Freddy J. Sánchez.

2.1.1.2. Mezclas asfálticas en frío

Las mezclas asfálticas en frío son una combinación de agregados de granulometría controlada, emulsiones asfálticas y agua, este tipo de mezcla por lo general se las realizan en el sitio donde se lo va a colocar, sin embargo, también se la elabora en planta. Cuando la mezcla ya está lista se extiende y se distribuye uniformemente de acuerdo con la cantidad requerida o necesaria es de gran importancia tener en cuenta que al momento de colocar la mezcla se debe verificar que esta esté lo más homogénea posible. (VISE, 2021)

2.1.1.2.1. Método Marshall

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con un tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno, y describe

una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

Este método se utiliza con el objetivo de poder determinar el porcentaje óptimo de asfalto para realizar la mezcla, porcentaje de vacíos, peso específico, y la estabilidad para el diseño.

Esta metodología consiste en realizar 36 briquetas con distinto porcentaje de asfalto con las siguientes medidas 6,35 cm de espesor por 10 cm de diámetro, a continuación, a estas briquetas se las debe compactar con un martillo compactador Marshall, se le debe proporcionar un número determinado de golpes en cada cara, los cuales serán de acuerdo con el tipo de tráfico al cual será sometida la infraestructura carretera, esto está especificado en la MOP-001. (The Asphalt Institute, 1982).

Un punto importante acerca de este método es que sirve para obtener un porcentaje óptimo de betumen para realizar una mezcla asfáltica de buena calidad, sin embargo, debemos tomar en cuenta que el método Marshall se diseña en base a cargas, y en nuestro enfoque de ciclovías, las cargas no son representativas, por lo cual, compararemos con los parámetros volumétrico, del cual se obtendrán los volúmenes requeridos para realizar la mezcla asfáltica modificada.

2.1.1.2.2. Método Superpave

En 1987, el Strategic Highway Research Program (SHRP) fue establecido por el Congreso de los Estados Unidos con un presupuesto de 150 millones de dólares en programas de investigación, a fin de mejorar el desempeño y duración de las carreteras volviéndolas más seguras tanto para automovilistas como para los trabajadores de estas.

Un tercio de este presupuesto se empleó en el desarrollo de especificaciones de desempeños basados en asfalto, directamente relacionados con análisis de laboratorio y con aplicaciones en campo.

Iniciando el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement).

Representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral; desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento. Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfalto), y su interacción cuando están mezclados. (Paul , Horacio , & Carlos Daniel Sandoval

Sandoval, 2005)

Para poder seleccionar el contenido óptimo de asfalto depende de dos criterios o factores, los cuales son los siguientes, el número de giros aplicados y los criterios establecidos para la compactación. (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Por el lado del compactador giratorio como parámetros establecidos tenemos el esfuerzo vertical, ángulo de giro y por último la velocidad de giro, a continuación, se observa los parámetros anteriormente mencionados.

Tabla 2. 1 Especificaciones de la metodología Superpave

| | |
|-------------------|---------|
| Esfuerzo vertical | 600 kPa |
| Ángulo de giro | 1.25 ° |
| Velocidad de giro | 30 rpm |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

En cuanto a la selección de números de giros se encuentra en función de la temperatura promedio del lugar y del número de ejes equivalentes establecidos en el diseño, a continuación, se mostrarán diferentes rangos de los valores que se han establecido para poder seleccionar el número de giros.

Tabla 2. 2 Esfuerzo de compactación giratoria para el diseño Superpave

| ESAL's de diseño (millones) | Temperatura promedio del aire para diseño | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | < 39°C | | | 39 – 40 °C | | | 41 – 42 °C | | | 43 – 44 °C | | |
| | N _{ini} | N _{des} | N _{máx} | N _{ini} | N _{des} | N _{máx} | N _{ini} | N _{des} | N _{máx} | N _{ini} | N _{des} | N _{máx} |
| <0.3 | 7 | 68 | 104 | 7 | 74 | 114 | 7 | 78 | 121 | 7 | 82 | 127 |
| 0.3 - 1 | 7 | 76 | 117 | 7 | 83 | 129 | 7 | 88 | 138 | 8 | 93 | 146 |
| 1 - 3 | 7 | 86 | 134 | 8 | 95 | 150 | 8 | 100 | 158 | 8 | 105 | 167 |
| 3 - 10 | 8 | 96 | 152 | 8 | 106 | 169 | 8 | 113 | 181 | 9 | 119 | 192 |
| 10 - 30 | 8 | 109 | 174 | 9 | 121 | 195 | 9 | 128 | 208 | 9 | 135 | 220 |
| 30 - 100 | 9 | 126 | 204 | 9 | 139 | 228 | 9 | 146 | 240 | 10 | 153 | 253 |
| >100 | 9 | 143 | 235 | 10 | 158 | 262 | 10 | 165 | 275 | 10 | 172 | 288 |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

2.1.1.2.3. Método RAMCODES

RAMCODES es una metodología racional para el análisis de densificación y resistencia de geo materiales compactados (Rational Methodology for Compacted geomaterials' Density and Strength análisis), esta metodología está en desarrollo desde 1998, se compone de varias técnicas de análisis como son la carta de degradación, las

curvas de diseño, los mapas de resistencia y el polígono de vacíos.

Gracias a investigadores del Instituto Mexicano de Transportes, en septiembre del 2001 se empezó a desarrollar la investigación del polígono de vacíos, sin embargo, este avance en la ingeniería civil pudo alcanzar una gran importancia en el año de 2011, puesto que, en este año pudo ser publicado en una de las revistas más prestigiosas de la ingeniería civil *Journal of Materials in Civil Engineering* y en algunos congresos internacionales. (Sánchez, 2021)

Se puede decir que este método es una metodología basada en experimentos factoriales y en una experiencia basada en la práctica de diseño y control para un análisis de la densificación y la resistencia de los geo-materiales compactados con el único fin de entrelazar tanto la teoría como la práctica de tal manera que esta sea eficiente y sencilla.

2.2. Ciclovías, características, concepción y diseño de mezclas asfálticas.

Como su nombre lo dice es una vía enfocada al tránsito de bicicletas, esta infraestructura de carácter público puede ser enfocada exclusivamente para el tránsito de estos vehículos no automotores, o a su vez combinar su uso para el tránsito de vehículos o peatones, según corresponda, de aquello dependerá el diseño de la mezcla asfáltica debido a sus características mecánicas.

La construcción de ciclovías no ha tenido la importancia que debería en los últimos tiempos, esto se debe a que se ha ignorado por décadas el beneficio de estas como solución a un problema, ya sea a la disminución de tráfico o contaminación al medio ambiente. Si hablamos de sostenibilidad debemos entender que es un tema que ha resonado en cuanto a planificación de movilidad, sin duda alguna el crecimiento del parque automotor se debe a que la personas buscan el beneficio de poseer transporte propio, sin embargo, esto ha generado más problemas en cuanto al tráfico y la movilidad. Por este motivo la construcción de ciclovías se ha vuelto una solución viable a esta problemática.

Un diseño completo de ciclovía involucra los siguientes puntos a tratar a continuación:

- **Diseño Geométrico**

- Dimensionamiento básico de las ciclovías
 - Ancho de las ciclovías
 - Velocidad de diseño
 - Radios de volteo
 - Sobrecanchos de ciclovías
 - Peralte
- Perfil Longitudinal
- Distancia de Visibilidad
- **Diseño de intersecciones**
- **Pavimentos**
 - Consideraciones
 - Estructura del pavimento
 - Tipos de pavimentos
 - Color del pavimento y acabados
 - Reductores de velocidad
- **Señalización**
 - Demarcación
 - Ubicación de señales
- **Semaforización**
- **Diseño urbanístico y paisajístico**
 - Paisajismo
 - Ciclo módulos
 - Iluminación
- **Estacionamientos**
 - Espacio de una Bicicleta

- Propuesta de Integración modal
- **Elementos de protección**
 - En las ciclovías/ciclo carriles
 - En estacionamientos

Como podemos observar en los puntos detallados, esto implica el diseño completo de una ciclovía como detalla el “Manual de diseño para infraestructura de ciclovías”. (Vera, 2016)

Sin embargo, en esta disertación se tratará específicamente el punto de mezclas asfálticas ya que trataremos una comparativa entre la mezcla de asfalto tradicional y la modificada con cierto porcentaje de celulosa.

2.3. Mezclas asfálticas para ciclovías

Las mezclas asfálticas son aspectos relevantes en todo pavimento flexible, las cuales genera una resistencia óptima, no obstante, los agregados o mezclas (agregados minerales) son duros, materiales inertes como arena, grava, triturado piedra, escoria o polvo de roca. Correctamente seleccionado y también los agregados graduados se mezclan con el cemento ingiriendo asfalto medio para formar pavimentos. Los agregados son los principales soportes de carga componentes de un pavimento de hormigón asfáltico los cuales son de importancia para mejorar la durabilidad. Suman del 90 al 95 por ciento de la mezcla peso y de 75 a 85 por ciento en volumen. (Reyes, 2013)

Así como lo ha establecido Reyes, debemos partir de que la mezcla asfáltica mucho va a depender de los materiales de su composición y esto dependerá del uso que se le vaya a dar a la mezcla, es decir que satisfaga las solicitudes que se le va a dar a la misma, en nuestro caso el tema de ciclovías que viene a ser el objetivo para cumplirse de este diseño.

El diseño de las mezclas asfálticas varía según el proyecto cada mezcla asfáltica tiene características particulares las cuales la hacen viable para el proyecto a desarrollar.

Existen ciclovías dentro de parques que su enfoque es únicamente para la movilización de estos vehículos no motorizados y de peatones, es decir que las solicitudes de carga serán bajas por el peso que estaría destinada a resistir este tipo de

proyectos, sin embargo no olvidemos que existen ciclovías que están ubicadas a un costado de las vías vehiculares que cuentan con su propia señalética y espacio destinado al tránsito seguro de ciclistas pero que podrían tener la carga de un vehículo que podría estacionarse por daño del auto o alguna otra circunstancia, o a su vez la carga de maquinaria especializada de limpieza como por ejemplo las barredoras de carreteras, es decir esta ciclovía sería distinta a ciclovías que solo soportarían carga de bicicletas y peatonal que se describió al principio.

Debemos tomar en cuenta que la carpeta asfáltica debe funcionar en armonía con su entorno, es decir que es de suma importancia analizar las consecuencias de fenómenos naturales que incidan en nuestra obra de ciclovía, por ejemplo, si nuestro suelo sufre variaciones debido al clima o factores externos, es trascendental elegir el tipo de mezcla asfáltica más adecuada.

Para obtener un producto final de calidad es trascendental también el proceso de elaboración de la mezcla, tener claro las características de nuestro material y el correcto diseño según el proyecto.

Entonces para tener en claro los distintos factores que compone una mezcla los detallaremos a continuación.

➤ **Materiales que conforman las mezclas**

El asegurar un producto final de calidad brinda seguridad a los usuarios que usen la ciclovía, un producto de mala calidad podría llegar a ser un riesgo para los usuarios, por eso desde la etapa de diseño se debe ser cauteloso y tomar decisiones óptimas para evitar cualquier defecto

Dentro de estas decisiones tenemos:

- o Elección y control de calidad del material
- o Verificación del material
- o Comprobación de valores de aceptación

Las mezclas asfálticas o también llamadas aglomerados, se obtiene de la aglomeración de agregados pétreos y material ligante. Es importante conocer el tipo y granulometría del agregado, el tipo de mezcla que se ha seleccionado y el método de

construcción de esta. (VISE, 2016)

➤ Clasificación de mezclas asfálticas

▪ **Mezclas asfálticas en caliente**

Esta se compone de materiales pétreos y cemento asfáltico, se lo realiza en una planta mezcladora estacionaria o móvil, con el respectivo equipo necesario para alcanzar las temperaturas elevadas que este tipo de mezcla necesita.

▪ **Mezclas asfálticas en frío**

Esta se compone por materiales pétreos y productos asfálticos con aditivos, se lo realiza en una planta mezcladora estacionaria o móvil, también necesita el equipo para precalentar los componentes. Se diferencia en la aplicación

▪ **Mezclas asfálticas por el sistema de riegos**

Esta se compone de la aplicación de uno o dos riegos de material asfáltico las cuales se colocan de manera intercalada con las capas de material pétreo triturado en tamaños decrecientes según su denominación. Existen mezclas de uno, dos o tres riegos.

(VISE, 2016)

➤ **Proceso de construcción**

Sea una mezcla en caliente o en frío, tiene que pasar durante estas tres etapas que como lo mencionamos anteriormente, el proceso es tan importante como su composición para lograr un buen producto final.

▪ **Mezclado**

Agregamos los elementos que conforman nuestra mezcla asfáltica. Este proceso se lo realiza en una planta especial, con estricto control tratando de cumplir con normas de calidad y ambientales.

▪ **Tendido**

Este proceso se lo realiza con equipo calificado que cuenta con las herramientas necesarias para el adecuado esparcimiento de la mezcla, su fin es brindar una textura que sea uniforme y lisa evitando la aparición de protuberancias.

▪ **Compactación**

De la misma manera se lo realiza con equipo calificado de características particulares y su fin es alcanzar una alta densidad para asegurar durabilidad y evitar irregularidades de la superficie. (VISE, 2016)

2.4. Investigación realizada en Holanda sobre la utilización de celulosa de residuos de papel higiénico en ciclovías

En Holanda y en el mundo existen infinidad de usos que se le da a la celulosa reciclada, con esto se ha ayudado a reducir la contaminación ambiental, puesto que al reciclar este material se ha podido utilizar para la elaboración de asfalto o para poder elaborar pasta o papel, esta materia prima también se puede utilizar como filtro, también se ha utilizado como un aislante para edificios o utilizarlo como un biocombustible, crear tejidos, todos están basados en la celulosa convencional.

Aproximadamente Holanda utiliza 180.000 toneladas de papel higiénico anualmente, por este motivo Frisia una provincia holandesa ha tomado como iniciativa utilizar este desecho sanitario no toxico para realizar una mezcla asfáltica para la realización de un carril para bicicletas. El tramo realizado con esta mezcla asfáltica es de 1 kilómetro de longitud aproximadamente, la cual conecta a la capital frisona de Leeuwarden con la ciudad de Stiens. Es el primer carril para bicicletas del mundo que está elaborado con fibras de celulosas obtenidas de los desechos sanitarios no tóxicos, y son muy pocos los que notan la diferencia a un carril elaborado tradicionalmente.

La celulosa utilizada para la construcción de la ciclovía en la ciudad de Frisia proviene de los rollos del papel higiénico, los cuales iban a las plantas de tratamientos, seguido a esto terminaban incinerados produciendo grandes cantidades de CO₂.

2.5. Procesos de obtención de la materia prima(celulosa) en los Países Bajos (Holanda)

La celulosa utilizada para la elaboración de la mezcla asfáltica para ciclovías es la celulosa terciaria. Para poder transformar los desechos sanitarios no tóxicos nuevamente a materia prima, para poder realizar esto, los países bajos (Holanda), filtran con agua las fibras de papel usando un tamiz industrial de 0.35 mm, con esto pueden obtener todo el papel que se encuentra en la planta de tratamiento, una vez ya obtenido la materia, se procede una serie de máquinas que limpian, las cuales esterilizan, blanquean y secan el producto, una vez que el papel haya pasado por todo este procedimiento el resultado obtenido es un material suave y de color gris.

2.5.1. Proceso de obtención de la materia prima(celulosa) en Latinoamérica

En Latinoamérica el primer paso para realizar la materia prima (celulosa) es la clasificación de los desechos sólidos y selección del material más óptimo para poder ser transportada hacia un pulper (máquina que sirve para mezclar mediante una hélice el papel con agua), gracias a este movimiento se separan las fibras de celulosa de las impurezas, a continuación entra en proceso de desinfección y depuración de la pasta, para lograr este paso, el material debe pasar por una serie de máquinas logrando separar el papel de los demás desechos como es el plástico, una vez que se han realizado todos estos pasos, podemos decir que se ha obtenido la celulosa de los desechos sanitarios no tóxicos.

Cabe recalcar el proceso de obtención en los distintos países, debido a que se recolecta el desecho sanitario no toxico de distinta manera, en Holanda se extrae de las plantas de tratamiento, mientras que en Latinoamérica, se recolecta de los tachos de basura, por este motivo, la extracción de celulosa es distinta, a pesar de esto, el producto final que viene a ser la fibra de celulosa de papel reciclado es el mismo, por lo tanto, si se puede realizar el mismo procedimiento en las mezclas asfálticas ecológicas como se ha realizado en Holanda.

2.6. Implementación de mezclas asfálticas ecológicas en ciclovías

Para hablar de mezclas asfálticas ecológicas se tiene en cuenta el proceso de fabricación utilizando materias primas renovables, productos reciclados o naturales y la eliminación de residuos después de la vida útil del material.

Desde el punto de vista medioambiental, los materiales más recomendados para pavimentos son los aglutinantes controlados y la madera tratada que cumplen con las normas exigidas.

Sin embargo, para contribuir a la lucha en contra del cambio climático se ha implementado el estudio de otros materiales, tal como lo describe nuestro tema de disertación, la implementación de nuevos materiales ha creado nuevos caminos hacia el diseño de mezclas asfálticas ecológicas siendo estas, óptimas para la aplicación en el tráfico de vehículos como el tráfico de bicicletas.

Debemos entender que al hablar de “Ciclovías”, estamos refiriéndonos a un tráfico de carga baja, esto es una ventaja ya que por esta razón muchas de las investigaciones han sido viables para la implementación de este concepto ecológico en

mezclas asfálticas para ciclovías. Materiales como restos de polímeros, plástico reciclado triturado y la nueva tecnología que han aplicado los Países Bajos que es nuestro punto de enfoque, el uso de desechos sanitarios no tóxicos nos dibuja un panorama para el diseño de una mezcla asfáltica muy útil para este tipo de proyectos.

2.7. Recopilación de información y estadísticas sobre la generación de residuos sanitarios no tóxicos en el Ecuador

El Ecuador en el año 2019 con una población de 17.373.662 (Data Commons, 2021), se realizó una caracterización de los residuos sólidos producidos por el tipo de residuo, esto se clasificaron en orgánico, cartón, papel, plástico rígido, plástico suave, vidrio, madera, metal, chatarra, caucho, textil, lámparas desechables/focos comunes/focos ahorradores, pilas, pañales desechables/papel higiénico/toallas sanitarias y otros. (INEC, 2019)

Para este estudio nos basaremos en la caracterización de los desechos de pañales desechables/papel higiénico/toallas sanitarias de la ciudad de Quito, la cual también se hará una comparación con los desechos de todo el Ecuador.

Tabla 2. 3 Tabulación de desechos de Quito

| Caracterización de los Residuos Sólidos Producidos por el Tipo de Residuo (Area Urbana), Según Provincias | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|----------|--|----------|----------|
| Cantones | Orgánico | Cartón | Papel | Plástico rígido | Plástico suave | Vidrio | Madera | Metal | Chatarra | Caucho | Textil | Lámparas desechables/ focos comunes/ focos ahorradores | Pilas | Pañales Desechables, papel higienico, toallas sanitarias | Otros | Total |
| | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo | Relativo |
| QUITO | 64.36 | 3.23 | 3.09 | 1.60 | 8.57 | 1.69 | .17 | 1.17 | . | . | 1.47 | .36 | .16 | 11.11 | 3.02 | 100.00 |

(INEC, 2019)

Tabla 2.4 Residuos Sólidos Recolectados

| Residuos Sólidos Recolectados (Toneladas/día) | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|---|----------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|---|------------|
| Cantones | Cantidad de residuos orgánicos recolectados (toneladas/día) | | Cantidad de residuos inorgánicos recolectados (toneladas/día) | | Diferenciada * (toneladas/día) | | No Diferenciada** (toneladas/día) | | Cantidad de residuos sólidos recolectados (toneladas/día) | Municipios |
| | Absoluto | Relativo | Absoluto | Relativo | Absoluto | Relativo | Absoluto | Relativo | | |
| QUITO | .1 | 1.3% | 7.7 | 98.7% | 7.8 | 0.4% | 2000.9 | 99.6% | 2008.7 | 1 |

(INEC, 2019)

Según el estudio realizado por la INEC, “*Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2019*” solo el 11.11% de los desechos sólidos producidos en la ciudad de Quito pertenecen al tipo de residuo requerido para la realización de este estudio de mezclas asfálticas ecológicas, las cuales son pañales, desechables/papel higienico/toallas sanitarias. Teniendo en cuenta que obtenemos 2008.7

ton/día de recolección

3. Caracterización de materiales y ensayos de laboratorio

3.1. Caracterización de los materiales pétreos

3.1.1. Material pétreo

Materiales pétreos en pavimentos se denomina a un conglomerado de partículas inertes como son la grava, arenas, finos o también conocidos como fillers, estos materiales se pueden presentar de materia natural o triturados. (Aulestia & Chávez, 2017). Este material proviene de las rocas, a estos se los conoce como agregados de partículas minerales, las cuales son grandes y no tienen forma uniforme o determinada, estas se las puede encontrar en la naturaleza, por ejemplo, el granito, mármoles, etc. cómo se podemos saber estos materiales son apreciados en el mundo de la construcción, por el mismo hecho de ser de alta resistencia en condiciones medioambientales, sin embargo, al tener estas características el coste de estos elementos son de un coste alto. (Búa, 2014)

Estos materiales son utilizados para la construcción de capas de terraplenes, subbase y base granular. Para poder darles este uso a este material deben pasar por ciertos generales para cumplir con su trabajo, como por ejemplo, se debe realizar un ensayo de granulometría ya sea por cribado o tamizado, y estas partículas deberán tener un diámetro entre 2.0 mm y 6.4 cm, para poder ser tomadas como una grava, por otro lado cuando la partícula tenga un diámetro entre 0.075 mm y 2 mm se le reconocerá como arena, esta puede ser fina o gruesa, esto depende del diámetro y por ultimo las que tienen un diámetro menor a 0.075 mm serán llamas arcillas, las cuales no presentan plasticidad al tener contacto con el agua, esto quiere decir que tienen un índice de plasticidad igual a cero, estas también se las reconoce como material filler. (Aulestia & Chávez, 2017)

3.2. Descripción y origen del material

Los agregados pétreos que se van a utilizar para la siguiente disertación, son provenientes de la planta de Holcim, la cual se encuentra ubicado en Pifo.

Tabla 3. 1 Ubicación Planta de Holcim

| Coordenada UTM WGS84 | | | | |
|----------------------|------|---|---|---------------|
| Lugar | Zona | E | N | Cota m.s.n.m. |

| | | | | |
|------------------------|------|-----------|------------|------|
| Planta Holcim, Pifo | 17 M | 798943.99 | 9972851.87 | 2817 |
|------------------------|------|-----------|------------|------|



Fotografía 3. 1 Ubicación planta Holcim

Como es de conocimiento Holcim es una empresa, la cual produce materiales de alta calidad, limpios de pureza, y sobre todo cumplen con normas técnicas establecidas como la ASTM y la INRN, por esta razón se ha decidido utilizar los materiales de esta empresa.

3.3. Caracterización de agregados

Las mezclas asfálticas estas conformadas por asfalto y los agregados pétreos, una mezcla tradicional está formada con un porcentaje promedio del 6% de asfalto y un 94% de los agregados respecto al peso de la mezcla.

3.3.1. Agregado grueso

Este material conocido como agregado grueso, proviene de la desintegración de la roca de origen volcánico, para poder identificar a esta partícula como agregado grueso, es que gracias a su tamaño esta debe quedar retenido en el tamiz numero 4 (4.75mm).

Gracias a su textura, forma y gradación los hacen ideal para poder realizar mezclas asfálticas o fabricación de todo tipo de concretos como son de alta resistencia, prefabricados, entre otros.

3.3.1.1. Ensayos sobre el agregado grueso

Para realizar los ensayos sobre el agregado grueso se tomaron dos tipos de tamaños los cuales clasificamos en agregado medio (3/4'') y agregado grueso (3/8'').

3.3.1.1.1. Gravedad específica

Con la gravedad específica podemos determinar la densidad promedio de las partículas del árido, con estos resultados se puede saber el volumen que va a ocupar en la mezcla asfáltica.

Gravedad específica neta del agregado G_{sb}

Se obtiene de la siguiente fórmula.

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

Fórmula 3. 1 Gravedad específica neta del agregado

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

Gravedad específica en condición saturada y superficialmente seca $G_{s,ss}$

Se obtiene con la siguiente fórmula.

$$G_{s,ss} = \frac{B}{B - C}$$

Fórmula 3. 2 Gravedad específica en condición saturada y superficialmente seca

Donde:

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

Gravedad específica aparente

Se obtiene con la siguiente fórmula.

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

Fórmula 3. 3 Gravedad específica aparente

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

3.3.1.1.2. Absorción del agregado

Para obtener la absorción del agregado grueso se debe seguir la siguiente fórmula.

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Fórmula 3. 4 Absorción

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g



Fotografía 3. 2 Ensayo de Gravedad Especifica

3.3.1.1.3. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto de la máquina de los ángeles

El método de Los Ángeles es un método de ensayo para agregados de tamaño menores a 1.5 pulgadas. Este ensayo nos ayuda a medir la pérdida o el desgaste de la masa mediante la Máquina de Los Ángeles, con esto podemos saber la calidad que tienen los agregados.

Mientras más bajo es el porcentaje de desgaste del agregado, se puede decir que el material es de calidad alta. Para realizar este ensayo, se debe tomar 5000 gr de material, después según la gradación se debe ir colocando las cargas abrasivas.

Tabla 3.2. Gradación de las muestras de ensayo de Abrasión

| Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas) | | Masa por tamaños indicada (g) | | | |
|--|-------------|-------------------------------|------------|------------|------------|
| Pasante de | Retenido en | Gradación | | | |
| | | A | B | C | D |
| 37,5 | 25,0 | 1 250 ± 25 | --- | --- | --- |
| 25,0 | 19,0 | 1 250 ± 25 | --- | --- | --- |
| 19,0 | 12,5 | 1 250 ± 10 | 2 500 ± 10 | --- | --- |
| 12,5 | 9,5 | 1 250 ± 10 | 2 500 ± 10 | --- | --- |
| 9,5 | 6,3 | --- | --- | 2 500 ± 10 | --- |
| 6,3 | 4,75 | --- | --- | 2 500 ± 10 | --- |
| 4,75 | 2,36 | --- | --- | --- | 5 000 ± 10 |
| Total | | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 |

(León & Herrera, 2019)

Tabla 3.1. Especificaciones para la carga para Ensayo de Abrasión

| Gradación | Número de esferas | Masa de la carga (g) |
|-----------|-------------------|----------------------|
| A | 12 | 5 000 ± 25 |
| B | 11 | 4 584 ± 25 |
| C | 8 | 3 330 ± 20 |
| D | 6 | 2500 ± 15 |

(León & Herrera, 2019)

Para obtener el desgaste a la abrasión del material se realizará una diferencia entre la masa inicial y la masa final, un punto importante de realizar es lavar y secar el material después de haber realizado la abrasión, una vez realizado esto se procederá a tomar la masa final. (León & Herrera, 2019)

3.3.1.1.4. Resistencia a los sulfatos

Este método nos ayuda a estimar el desempeño de los áridos a la acción de la intemperie, mediante soluciones saturadas con sulfatos de sodio o también se utiliza el sulfato de magnesio.

Este ensayo se logra después de sumergir el material en soluciones saturadas con sulfato de sodio o magnesio, seguido a esto se debe colocar en el horno para así poder deshidratar la sal precipitada en los espacios porosos permeables del material. (NTE-INEN 863, 2011)

Se debe tener en cuenta que dicho ensayo presenta una gran imprecisión, por lo tanto, no se debería considerar como un criterio definitivo para tomar como rechazo al agregado. (NTE-INEN 863, 2011)

3.3.2. Agregado fino

A este material se lo conoce como material fino al producto proveniente de la desintegración de la roca de origen volcánico y su tamaño debe pasar por el tamiz 3/8" y debe quedar retenido en el tamiz 200.

3.3.2.1. Ensayos sobre el agregado fino

3.3.2.1.1. Equivalente de arena

El equivalente de arena es un ensayo el cual nos indica la relación de la altura de arena a la altura de arcilla y eso se multiplica por 100, es decir, este ensayo tiene como objetivo determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo en

agregados finos. (Aulestia & Chávez, 2017)



Fotografía 3. 3 Equivalente de arena

3.3.2.1.2. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino

Este método determina la densidad media de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de vacíos entre partículas), y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad en (kg/m³) o (lb/pe³) es expresada como secada al horno, saturada superficialmente seca o densidad aparente, igualmente la densidad relativa.



Fotografía 3. 4 Gravedad especifica Agregado fino



Fotografía 3. 5 Absorción del Agregado fino

3.3.2.2. Análisis granulométrico de agregados

El ensayo de granulometría busca la determinación de la distribución de los distintos tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, este proceso consiste en pasar el material por medio de tamices de abertura cuadrados, normados que disminuyen su abertura a partir que se avanza. Este proceso es valedero también con el uso de mallas de laboratorio de abertura redonda. (I.N.V.E, 2007)

Para este estudio se va a realizar con la granulometría Superpone, el cual ha modificado la manera en la que se realiza el método Marshall. Este método emplea el exponente 0,45 en la carta de granulometría en el tamaño de abertura del tamiz, con esto obtenemos la distribución del tamaño las mezclas de las partículas acumuladas.

Las ordenadas de la carta representan los porcentajes que pasan y las abscisas se encuentran en escala aritmética, representan a las aberturas de los tamices en mm, las cuales están elevadas a la potencia de 0,45. (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Tabla 3. 2 Tamices para Superpave

| Abertura | (D) ^{0.45} |
|----------|---------------------|
| 37,5 | 5,11 |
| 25,4 | 4,29 |
| 19 | 3,76 |
| 12,5 | 3,12 |
| 9,5 | 2,75 |
| 4,75 | 2,02 |
| 2,36 | 1,47 |
| 1,18 | 1,08 |
| 0,6 | 0,79 |
| 0,3 | 0,58 |
| 0,15 | 0,43 |
| 0,075 | 0,31 |

((Ochoa, 2018)

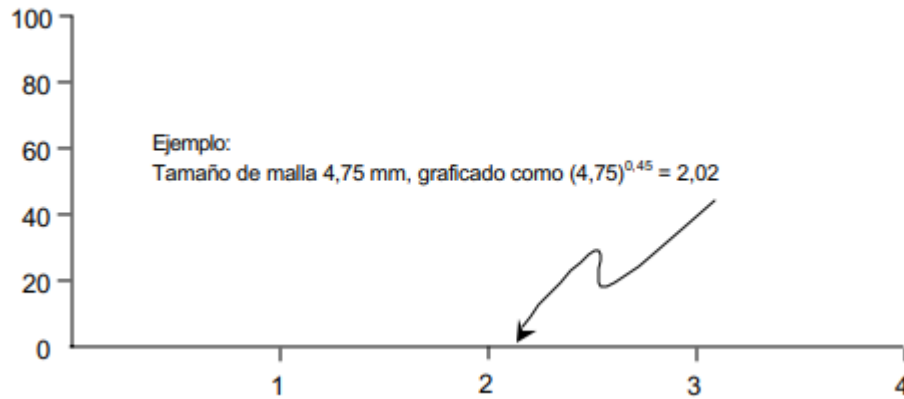


Figura 3. 1 Ilustración de cómo se grafican las abscisas

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Cabe recalcar la importancia en esta carta el papel cumplido por la granulometría de máxima densidad, la cual representa una línea recta cuyas coordenadas empiezan en el origen de dicha gráfica y termina en la abscisa de tamaño máximo y ordenada final (100%)

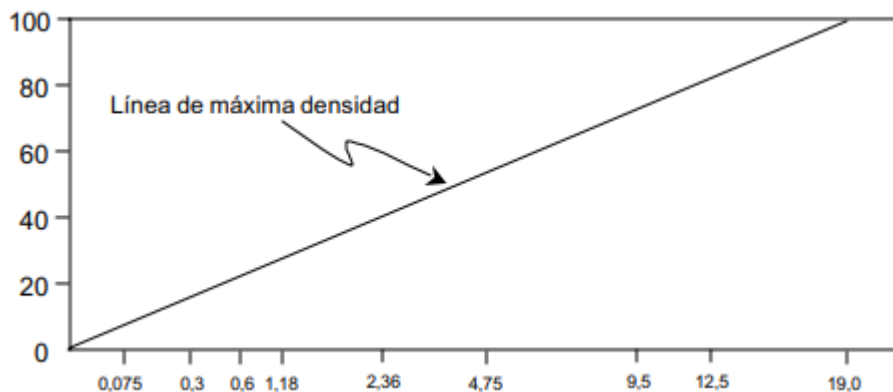


Figura 3. 2 Graduación de máxima densidad para tamaño máximo de 19 mm

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Los puntos de control son aquellos puntos donde el paso es obligatorio para la curva granulométrica, estos corresponden al tamaño máximo nominal, tamaño un intermedio de 2.36mm y un tamaño de finos de 0.075mm.

La zona de restricción está ubicada entre los tamaños intermedios, los cuales son 4.75 o 2.36mm y 0.3mm, formando así una banda donde la curva granulométrica no debería pasar, por otro lado, si esta curva pasara por esta zona esta se le dominara como graduaciones con joroba, cuando se da este tipo de casos se debe a que estas curvas indican que se tiene una mezcla con demasiada arena fina en relación con el total de la arena. Por esta razón se puede decir que la granulometría que pasa por esta zona tiene

un esqueleto granular débil, la cual depende mucho de la rigidez del asfalto para poder alcanzar una resistencia al corte

A continuación, observaremos una gráfica donde se presentan los puntos de control y zonas de restricción que una curva granulometría debe cumplir un tamaño máximo de agregado de 19 mm.

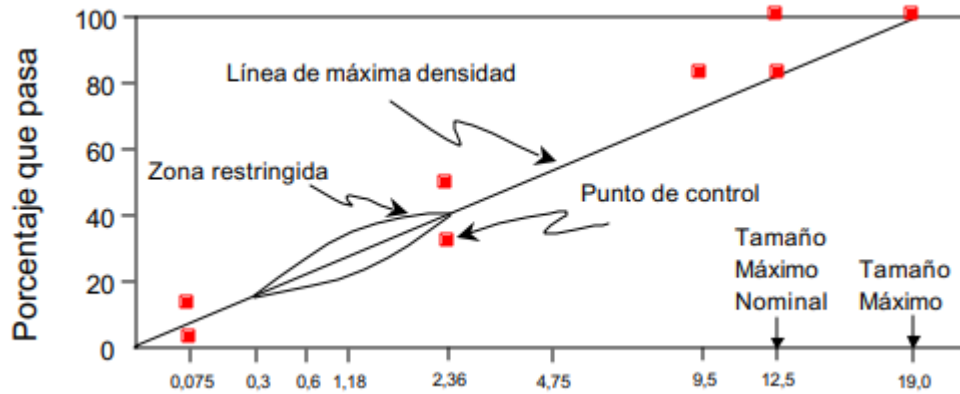


Figura 3. 3 Abertura de malla, mm

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Se puede decir que un diseño de la estructura del agregado que cumplan con el paso por los puntos de control y que no pase por la zona de restricción satisface todos los requerimientos granulométricos que el método Superpave necesita.

Los valores de los parámetros: puntos de control y zona restringida, están referenciados a cinco designaciones que la metodología Superpave establece, en las cuales proponen los tamaños máximos nominales más utilizados y los criterios correspondientes a los parámetros mencionados.

En la siguiente tabla se puede observar las 5 designaciones que el método Superpave propone.

Tabla 3. 3 Graduación para mezclas Superpave

| Designación Superpave | Tamaño máximo nominal | Tamaño máximo |
|-----------------------|-----------------------|---------------|
| 37,5 mm | 37,5 | 50,0 |
| 25,0 mm | 25,0 | 37,5 |
| 19,0 mm | 19,0 | 25,0 |
| 12,5 mm | 12,5 | 19,0 |
| 9,5 mm | 9,5 | 12,5 |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

A continuación, vamos a observar las tablas que contienen las especificaciones como los puntos de control y la zona de restricción para los tamaños máximos nominales para la abertura de agregados más comunes utilizados como es de 19 mm, y 12.5 mm. En este caso vamos a utilizar la tabla que contenga la abertura de 12.5 mm.

Tabla 3. 4 Especificaciones de gráfica de Fuller para un tamaño máximo nominal de 19mm

| Malla (mm) | Puntos de control | | Zona restringida | |
|------------|-------------------|--------|------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| 25,0 | | 100,0 | | |
| 19,0 | 90,0 | 100,0 | | |
| 12,5 | | 90,0 | | |
| 2,36 | 23,0 | 49,0 | 34,6 | 34,6 |
| 1,18 | | | 22,3 | 28,3 |
| 0,600 | | | 16,7 | 20,7 |
| 0,300 | | | 13,7 | 13,7 |
| 0,075 | 2,0 | 8,0 | | |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Tabla 3. 5 Especificaciones de gráfica de Fuller para un tamaño máximo nominal de 12.5mm

| Malla (mm) | Puntos de control | | Zona restringida | |
|------------|-------------------|--------|------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| 19,0 | | 100,0 | | |
| 12,5 | 90,0 | 100,0 | | |
| 9,5 | | 90,0 | | |
| 4,75 | | | | |
| 2,36 | 28,0 | 58,0 | 39,1 | 39,1 |
| 1,18 | | | 25,6 | 31,6 |
| 0,600 | | | 19,1 | 23,1 |
| 0,300 | | | 15,5 | 15,5 |
| 0,075 | 2,0 | 10,0 | | |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)



Fotografía 3. 6 Granulometría agregado grueso



Fotografía 3. 7 Granulometría agregado fino

Tabla.3.2 Resumen de agregados

| TABLA DE RESUMEN DE LOS AGREGADOS | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|--------|-----|-----|-------------|---------------|
| Descripción | Valor | Unidad | Min | Max | Observación | Referencia |
| AGREGADO GRUESO | | | | | | |
| Gravedad Específica Bulk | 2.531 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| Gravedad Específica SSS | 2.586 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| Gravedad Específica AP | 2,678 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| % Absorción | 2.17 | % | | | | NTE INEN 857 |
| Abrasión | 23,72 | % | | | | ASTM C-131 |
| Resistencia a los Sulfatos | | % | | | | NTE INEN 0872 |
| AGREGADO MEDIO | | | | | | |
| Gravedad Específica Bulk | 2.521 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| Gravedad Específica SSS | 2,560 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| Gravedad Específica AP | 2.623 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| % Absorción | 1,55 | % | | | | NTE INEN 857 |
| Abrasión | - | % | | | | ASTM C-131 |
| Resistencia a los Sulfatos | | % | | | | NTE INEN 0872 |
| AGREGADO FINO | | | | | | |
| Gravedad Específica Bulk | 2,628 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| Gravedad Específica SSS | 2,643 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| Gravedad Específica AP | 2,667 | gr/cm3 | | | | NTE INEN 857 |
| % Absorción | 0,55 | % | | | | NTE INEN 857 |
| Resistencia a los Sulfatos | - | % | | | | NTE INEN 0872 |
| Equivalente de Arena | 68 | % | | | | NTE INEN 3124 |

3.4. Caracterización del asfalto

3.5. RAMCODES

3.5.1. Diseño con el polígono de vacíos de RAMCODES.

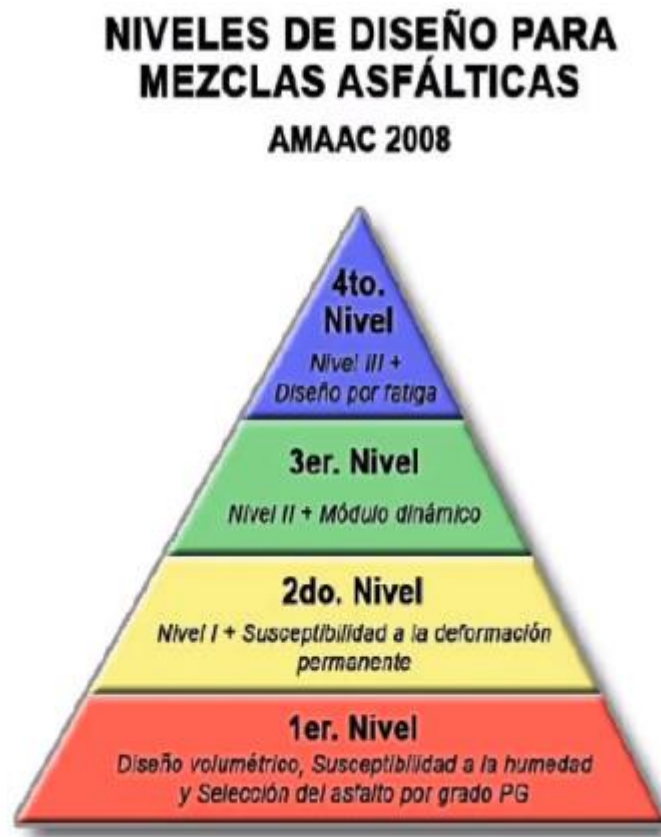
El polígono de vacíos es una construcción gráfica, en el espacio contenido de asfalto (Pb) versus densidad bruta (Gmb), que permite obtener un contenido óptimo de asfalto, o fórmula de trabajo de una mezcla asfáltica, basada solo en las definiciones y especificaciones de vacíos, y en la elaboración de tres especímenes hermanos compactados con la energía de diseño. Este contenido óptimo de asfalto es luego verificado con otras pruebas como estabilidad y flujo (diseño Marshall), o pérdida en tracción indirecta (Superpave, Protocolo mexicano). (Sánchez, 2021)

El resultado del contenido óptimo de asfalto, obtenido con solo 3 especímenes, es prácticamente el mismo que si se emplearan 15 especímenes de un diseño Marshall, o 16 especímenes de un diseño Superpave o de Protocolo mexicano. Esto es posible porque el polígono de vacíos corrige una redundancia conceptual del análisis de vacíos, que es común en los principales métodos de diseño, como Marshall, Superpave o

Protocolo mexicano. (Sánchez, 2021)

La gran utilidad del polígono de vacíos es que se obtiene ese contenido óptimo de asfalto con apenas 1/5 de los especímenes requeridos, lo que se traduce en un importante ahorro de tiempo, y dejando un diseño para poder evaluar lo que más importa, lo cual es la respuesta de la mezcla asfáltica. (Sánchez, 2021), por este motivo se puede decir que el polígono de vacíos es una herramienta analítica para el diseño de mezclas asfálticas con el método Superpave.

Para realizar este método se va a tomar como referencia la pirámide mexicana para el diseño de mezclas asfálticas de alto desempeño.



Fotografía 3. 8 Niveles de diseño para mezclas asfálticas

(Ochoa, 2018)

Como podemos observar el trabajo del polígono de vacíos tiene que ver con en el primer piso de la pirámide, puesto que aquí se realiza el diseño volumétrico de la mezcla, esto quiere decir que en este paso se busca que la mezcla asfáltica cumpla con las especificaciones de vacíos con las que se están trabajando.

A través del polígono de vacíos se obtiene una fórmula de trabajo para una mezcla asfáltica en caliente (MAC) esto es únicamente a partir de las especificaciones

de vacíos que se han establecido en cada una de las especificaciones que se ha trabajado.

El polígono de vacíos ayuda a la aceleración del método Marshall, Superpave, y el protocolo AMAAC. Otro punto importante para mencionar es que el polígono de vacíos se define como el área más grande donde se cumplen simultáneamente todas las especificaciones de vacíos. Estos vacíos se basan en el contenido de ligante (%CA) y la densidad Bulk (Gmb) y se indican en los mapas como isolíneas, para los valores permitidos, la intersección de estas líneas produce una construcción gráfica del espacio %CA - Gmb, que da como resultado un polígono en el que a través de su centroide, es matemáticamente posible obtener un contenido de asfalto que cumple con todas las especificaciones de vacío para la mezcla como se puede observar en la siguiente imagen. (Ochoa, 2018)

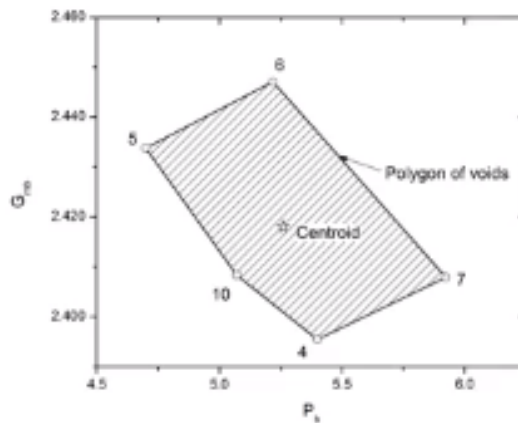


Figura 3. 4 Polígono de Vacíos

(Ochoa, 2018)

Para poder acelerar el proceso de diseño original Superpave, RAMCODE propuso que se debe determinar la gravedad específica efectiva (G_{se}), la gravedad aparente específica (G_{sa}) y por último la gravedad de masa específica de una combinación de agregados (G_{sb}), todo esto se deberá realizar a partir de la combinación de agregados que se ha elegido para la mezcla, cabe mencionar que es de gran importancia verificar $G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$, esto según las definiciones teóricas. (Ochoa, 2018).

Una vez obtenido esto, el contenido óptimo de ligante se obtendrá matemáticamente a través del polígono de vacíos, considerando las especificaciones y gravedades específicos de la combinación de agregados seleccionados.

Siguiendo las normativas de pruebas de Superpave, se mezcla la combinación de agregados con el contenido óptimo de ligante, una vez realizado este paso, se condensan tres especímenes para determinar los vacíos, cuando se termine de condensar los especímenes, se deberá ensayarlos para así poder determinar su estabilidad y flujo. Se procede a calcular el promedio de los resultados. (Ochoa, 2018).

Se verifica si el promedio del contenido de ligante y la densidad Bulk entra en el polígono de vacíos, de no ser así, significa que el intento falló, por lo tanto, se debe seleccionar otra combinación de agregados y volver al primer paso.

3.6. Diseño de la mezcla asfáltica añadiendo un porcentaje de desechos sanitarios no tóxicos (papel higiénico reciclado)

El diseño de nuestra mezcla asfáltica modificada no es nada más que el diseño de nuestra mezcla tradicional aumentado nuestro porcentaje de celulosa ya que nuestra investigación busca evaluar el comportamiento de un diseño tradicional con la adición de nuestra celulosa.

Con la metodología empleada en nuestro diseño tradicional aseguramos el óptimo comportamiento de la misma y buscamos emplear esta materia prima reutilizable y dando un nuevo fin a la misma. Hemos experimentado 3 porcentajes y evaluado las muestras correspondientes para conocer el comportamiento de nuestros especímenes con diseño tradicional, 2,3 y 4 por ciento de celulosa.

Al tratarse de un diseño para ciclovía hemos optado por realizar un diseño de mezcla en frío con el uso de emulsión asfáltica CSS-1H que se caracteriza por ser una emulsión catiónica de quiebre lento, su color café y estado líquido lo caracteriza. Hemos elegido este material luego de analizar las posibles opciones para este diseño es por eso que se ha realizado ensayos tanto de asfalto como emulsión de la marca IMPTEK.

3.7. Asfalto

El asfalto también conocido como bitumen, se lo obtiene de varios componentes, es un mineral con muchas propiedades que nos permiten elaborar los numerosos productos para la construcción de proyectos viales para automóviles o peatones.

Al mezclar con agregados pétreos se obtiene la denominada mezcla asfáltica para todo tipo de vía, claro que dependerá el tipo de vía para las especificaciones técnicas del diseño de esta, pero también tiene usos en impermeabilizantes para muros conductos y techos.

3.7.1. Penetración de los asfaltos (ASTM D 5)

Según (Albornoz, 2014), este ensayo nos permite caracterizar la consistencia o dureza del cemento asfáltico a tratarse, esto se lo mide en decimas de milímetros al momento que una aguja estandarizada penetra a la muestra verticalmente, se debe tomar en cuenta temperatura, tiempo y carga, ya que son datos específicos.

Para la realización de este nos regimos a lo indicado por la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM), bajo el código D5, la cual nos indica que debemos colocar en un recipiente estandarizado una muestra de ligante hasta llegar a los 25° C o 77° F que es la temperatura de referencia, luego procedemos a colocar la aguja sobre el ligante y lo dejamos penetrar durante un tiempo determinado. La carga aplicada es 100g (aguja, pesa, vástago) durante 5s.

Sin embargo, este ensayo puede ejecutarse en distintas condiciones siempre y cuando se reporte las condiciones de temperatura, tiempo y carga a las cuales se realizó el ensayo.

Este dato será tomado en unidades de 0.1 mm, mientras más blando el ligante asfáltico mayor penetración tendrá la aguja.

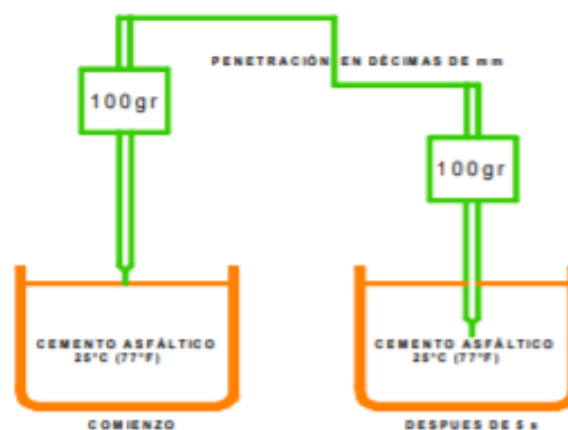


Figura 3. 5 Ensayo de Penetración

(Albornoz, 2014)

3.7.2. Ductilidad (ASTM D 113)

Según (Albornoz, 2014), casi todas las especificaciones de aglutinantes establecen valores mínimos para la ductilidad. Para cementos asfálticos se aplican al material original y para asfalto Los asfaltos líquidos y las emulsiones asfálticas se aplican al residuo después de la destilación.

Cabe recalcar que materiales asfálticos dúctiles poseen mejores propiedades aglomerantes comparados con aquellos que no poseen esta característica, es más importante que el material posea ductilidad que el valor obtenido en el ensayo, ya que es importante saber identificar materiales con ductilidad alta que son muy susceptibles a cambios de temperatura.

Este valor de ductilidad se lo determina por la distancia que puede elongar antes de la ruptura del mismo, la muestra se la prepara estabilizando el cemento asfáltico en baño maría colocando en una briqueta debidamente lubricada para retirar las partes interiores medias y obteniendo una temperatura de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ y como se lo muestra a continuación:

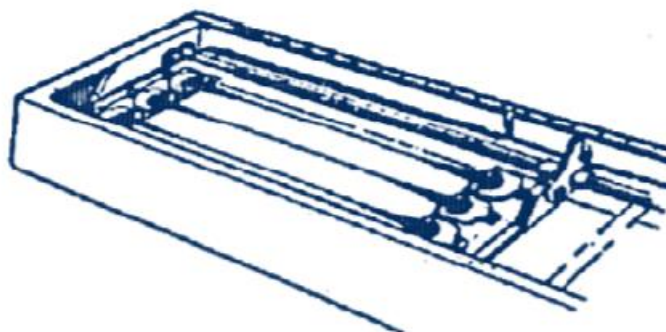


Figura 3. 6 Maquina de Ductilidad

(Albornoz, 2014)



Fotografía 3. 9 Preparación de muestras

La velocidad aplicada en el ductilómetro es de 5 cm/min \pm 5%, en caso de realizarlo a baja temperatura la velocidad será de 1 cm/min

La probeta tendrá medidas estandarizadas y será sometida a el alargamiento con velocidad constante.



Fotografía 3. 10 Ensayo Ductilidad

La longitud será medida en cm al hilo del material en su momento de ruptura, como lo indica la imagen a continuación.



Fotografía 3. 11 Ensayo Ductilidad

3.7.3. Punto de Ablandamiento (ASTM D36/D36M-12)

Según (Albornoz, 2014) este ensayo se lo realiza para poder determinar el punto de relanzamiento de los asfaltos, estandarizado por la norma ASTM D36, nos permite obtener el valor del grado de susceptibilidad que posee algún material ante los cambios de variación de temperatura.

Este ensayo se lo conoce también como de Anillo y Bola ya que consiste en llenar de asfalto un anillo de latón estandarizados tanto el anillo y la bola con medidas y pesos como lo indica la norma.

Luego calentamos a baño maría el agua y esperamos que la bola toque el fondo de la placa como lo muestra la figura y la temperatura es tomada en ese punto para determinar la consistencia del ligante.

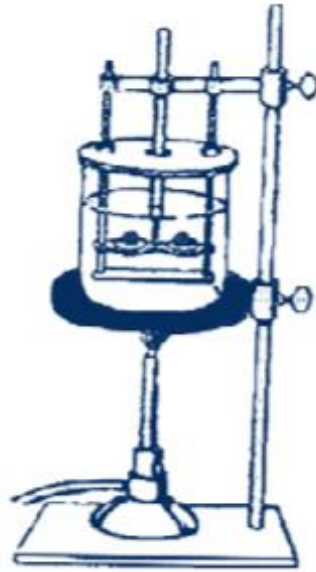


Figura 3. 7 Ensayo Punto de ablandamiento



Fotografía 3. 12 Máquina Punto de Ablandamiento

3.7.4. Viscosidad Rotacional RV (ASTM d44/d4402m-12)

Este ensayo se lo define como la resistencia que tiene un material a fluir cuando este se encuentra en contacto con una superficie. Si hablamos de pavimentos, este es un parámetro físico destinado principalmente para cuantificar de manera aproximada las distintas temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas, refiriéndose a la temperatura de mezclado del agregado pétreo con el ligante asfáltico de la planta asfáltica para la extensión y compactación de las mezclas en los laboratorios.

También ofrece una medida indirecta de la rigidez y consistencia obtenida por el asfalto, es decir mientras más rígido sea el asfalto más viscoso se

lo denomina.



Fotografía 3. 13 Viscosímetro Rotacional



Fotografía 3. 14 Resultados Viscosímetro Rotacional

3.8. Emulsiones asfálticas

Se denomina emulsión asfáltica a una dispersión fina, la cual está más o menos estabilizada de un líquido en otro, estos no son compatibles entre sí, este motivo se utiliza un emulsificante, emulsionante o también conocido como emulgente. Esto quiere decir, que las emulsiones asfálticas están formadas por dos fases parciales que están totalmente incompatibles, la cual una fase se la conoce como fase continua o dispersante y la otra fase como discreta o dispersa, cuando estas dos fases permanecen en total equilibrio, esto quiere decir que las partículas en suspensión estén aglomeradas o se sedimenten, se dice que la emulsión se encuentra estable. (Rodríguez, Castaño, & Martínez , 2010)

A continuación, se indica mediante una imagen las distintas fases que tiene la emulsión asfáltica.

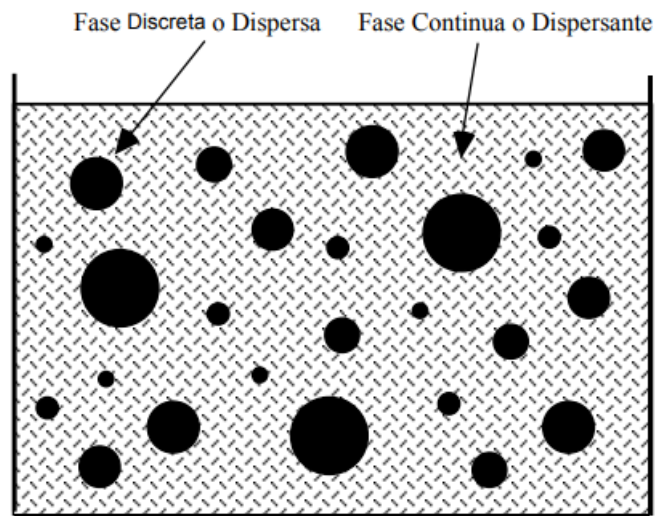


Figura 3. 8. Diagrama esquemático de una Emulsión

(Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2010)

El contenido de asfalto en las emulsiones bituminosas que van dirigidas para la pavimentación normalmente varía entre el 50% y el 65% del peso total.

Los glóbulos de asfalto que se encuentran en la emulsión están cargados por electricidad, las cuales pueden ser positivas o negativas, por este motivo se da el origen a las emulsiones catiónicas y aniónica respectivamente. (Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2010)

El rompimiento de la emulsión asfáltica se da cuando las dos fases antes mencionadas se disocian completamente, esto quiere decir que, la fase acuosa se separa totalmente, esto se da por una modificación en el equilibrio electrostático que mantiene a los glóbulos el cual mantiene a los glóbulos del asfalto en suspensión de la fase acuosa y esto se puede dar por la evaporación de esta. (Cajas & Iglesias, 2010)

Por lo general las emulsiones asfálticas están compuestas por un radical alquilo R, el cual es hidrofóbico, el mismo que se encuentra saponificado que al tener contacto con el agua estos se disocian por completo quedando así con cargas positivas o negativas según el tipo de emulsificante que se haya utilizado.

Las emulsiones aniónicas es cuando el agente emulsificante confiere una polaridad negativa a los glóbulos, esto quiere decir que estos adquieren carga negativa,

por otro lado, la emulsión catiónica confiere una polaridad positiva a los glóbulos, así que estos adquieren una carga positiva. (Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2010)

A continuación, se indicará por son las emulsiones tanto positivas como negativas (catiónica y aniónica) respectivamente.

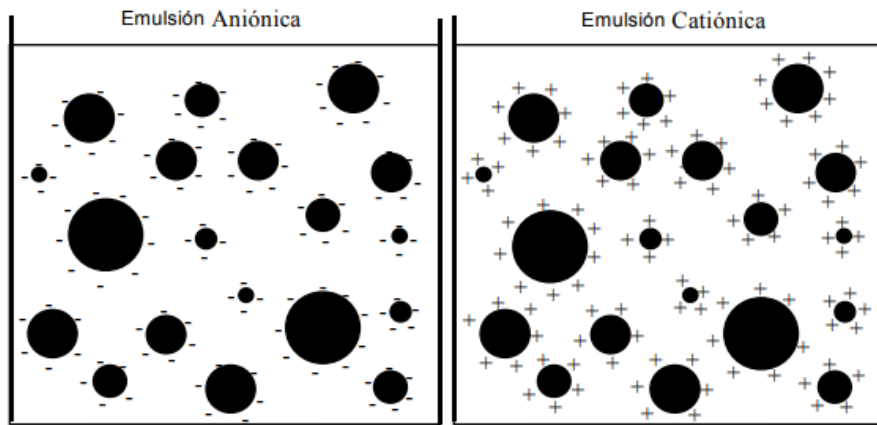


Figura 3. 8 Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica
(Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2010)

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas podemos decir que estas se clasifican en 3 tipos, las cuales son de rompimiento rápido, de rompimiento medio y de rompimiento lento.

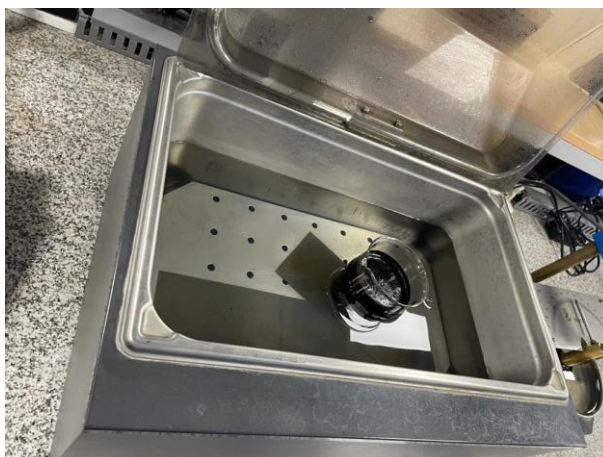
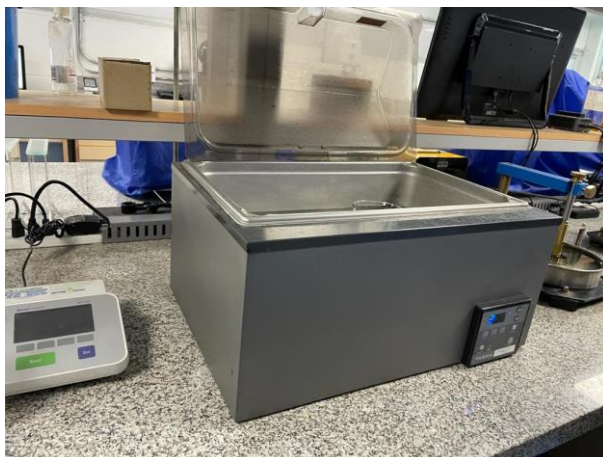
Las emulsiones de rompimiento rápido son aquellas que se utilizan para riegos de liga y carpetas por el mismo sistema de riegos, las emulsiones de rompimiento medio normalmente son empleadas en carpetas de mezclas en frío elaboradas en planta, y más cuando el porcentaje de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de bacheo, renivelaciones y por último de sobre carpetas, por el lado de las emulsiones de rompimiento lento son empleadas para la estabilización asfálticas, y son elaboradas en planta como una mezcla en frío.

3.9. Ensayos de la Emulsión Asfáltica

Para poder evaluar la calidad y clasificación de la emulsión asfáltica que se está utilizando se deben realizar varios ensayos de laboratorio que a continuación se explicará cada uno de ellos.

Para realizar cada uno de estos ensayos se debe preparar la emulsión asfáltica llegando a una temperatura óptima, para ello se debe realizar calentar la muestra a baño de María. (Carlos Preciado, 2013)

Fotografía 3. 15 Preparación de la Emulsión Asfáltica



- **Carga de la partícula**

Con este ensayo podemos identificar el tipo de emulsión asfáltica, ya sea catiónica o aniónica. Para realizar este ensayo se debe sumergir un electrodo positivo denominado como ánodo y un electrodo negativo denominado cátodo en una muestra de emulsión asfáltica, a continuación, se los conecta en una fuente controlada de una corriente eléctrica continua, una vez realizado este procedimiento se debe esperar 30 min o al ver que la corriente decaiga 2 mili amperes, al haber transcurrido una de estas dos opciones se debe examinar los dos electros para así poder determinar la carga que tiene la emulsión, si la mayoría de las partículas se encuentran en el lado del cátodo esto quiere decir que la emulsión es de carga positiva y viceversa. (Cajas & Iglesias , 2010)



Fotografía 3. 16 Ensayo de Carga de Partícula



Fotografía 3. 17 Ensayo de Carga de Partícula

Al realizar esta el ensayo de carga de partículas con la emulsión CSS-1h, pudimos determinar que dicha emulsión es de carga positiva, puesto el cátodo tuvo la mayor parte de partículas de asfalto, como se indica en la siguiente imagen.



Fotografía 3. 18 Ensayo Carga de partícula

- **Gravedad Especifica**

Como se conoce la gravedad específica de un material es la relación de su peso a una temperatura determinada, al peso del volumen igual de agua a la misma temperatura por lo general es a 25°C, la cual se expresa como gravedad específica a los 25°C.

Para encontrar la gravedad específica de los asfaltos solidos se debe determinar por inmersión directa en agua, mientras que las emulsiones que es en este caso de estudio se deben determinar por medio del picnómetro o desplazamiento. (Cajas & Iglesias , 2010)

- **Retenido en la malla #200**

Este ensayo sirve para detectar cuantitativamente el porcentaje de cemento asfáltico que se encuentra presente en las emulsiones ya sea en forma de glóbulos grandes o astillas, las cuales puedan taponar el equipo de distribución, también se puede decir que este ensayo es complementario al de asentamientos.

Para realizar este ensayo se debe tener una muestra de 1100 ml, la cual se lava por el tamiz #20, una vez realizado este paso se debe se debe secar lo retenido para así poder determinar el porcentaje de partículas indeseadas.

Fotografía 3. 19 Retenido en el tamiz 200



Fotografía 3. 20 Retenido en el tamiz 200



- **Viscosidad**

El objetivo de este ensayo es determinar el estado de fluidez de la emulsión asfáltica en el rango de la temperatura en la que se la va a utilizar para su aplicación. Esta se la puede medir mediante viscosidad cinemática o por Seybolt Furol, en este caso realizamos el ensayo mediante Seybolt Furol.

Se puede decir que la viscosidad es la resistencia de un fluido al movimiento. Para el caso de la emulsión asfáltica la prueba de viscosidad se utiliza como medida de consistencia, los segundos se toman como segundos Saybolt, esta viscosidad se mide en dos tipos de rangos de temperatura las cuales son de 24°C y 50°C.

Fotografía 3. 21 Viscosidad de la Emulsión



Es importante realizar este ensayo para poder saber parámetros muy importantes que deben poseer las emulsiones asfálticas para poder evitar riesgos de liga o adherencias y también a riesgos de gravilla.

La viscosidad está relacionada con diversos factores importantes en la emulsión como el tamaño de la partícula, la naturaleza química del emulsificante, la viscosidad de la fase continua y por último el contenido del cemento asfáltico.

Al realizar el ensayo con la emulsión asfáltica CSS-1h con 60 ml de muestra, pudimos tomar el tiempo y así obtuvimos un tiempo de 15.14 segundos Seybolt a una temperatura de 25°C en la que se encontraba la muestra. (INEN, 2013)

Fotografía 3. 22 Ensayo de Viscosidad



- **Residuo por evaporación**

Con este ensayo llevamos a determinar la proporción relativa de cemento asfáltico y de agua que se encuentran presentes en la emulsión asfáltica, de esto también podemos obtener información sobre la cantidad de destilado de petróleo que contiene algunos tipos de emulsiones asfálticas.

Para este ensayo se debe colocar una muestra de emulsión en un recipiente abierto de 1000 ml de capacidad y con una varilla de vidrio de aproximadamente 6mm de diámetro y 180 mm de longitud, una vez obtenida la muestra se le mete al horno a una temperatura de $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 2 horas, al culminar este tiempo se debe agitar la emulsión con la varilla de vidrio y colocamos otra vez las dos muestras en el horno por 1 hora más, luego procedemos a retirar las muestras, dejamos que se enfríen y finalmente se pesa cada uno de los bases con sus respectivas varillas para poder determinar el porcentaje de residuo de asfalto.

Para calcular el porcentaje de residuo de cada vaso se debe utilizar la siguiente formula:

$$\text{residuos, \%} = 2(A - B)$$

Fórmula 3. 5 Porcentaje de residuo

Donde: A es el peso del vaso, varilla y el residuo

B es el peso inicial del vaso y la varilla

(INEN, 2013)



Fotografía 3. 23 Residuo de Asfalto



Fotografía 3. 24 Residuo de Asfalto pensando la muestra



Fotografía 3. 25 Residuo de Asfalto al horno



Fotografía 3. 26 Residuo de asfalto enfriamiento



Fotografía 3. 27 Residuo de asfalto removiendo



Fotografía 3. 28 Residuo de asfalto después de 24 horas

3.10. Ensayos Volumétricos

El diseño de mezclas con el método Superpave y el análisis es más complejo que otros métodos que se usan en la actualidad, el alcance de uso de este método depende del nivel de tránsito que requiera el diseño o también la clasificación funcional del pavimento para la cual se realiza el diseño.

Existen 3 niveles de diseño de mezclas utilizando la mezcla Superpave, en la siguiente imagen se mostrará los ensayos requeridos para cada nivel del Superpave.

Tabla 3. 6 Niveles de diseño de mezclas Superpave

| Tránsito | Niveles de diseño | Requerimientos de ensayo ¹ |
|---|-------------------|--|
| $ESALs \leq 10^6$ | 1 | Diseño volumétrico |
| $10^6 < ESALs \leq 10^7$ | 2 | Diseño volumétrico + ensayos de predicción de desempeño |
| $ESALs > 10^7$ | 3 | Diseño volumétrico + aumento de los ensayos de predicción de desempeño |
| ¹ En todos los casos, la susceptibilidad a la humedad debe ser evaluada (Norma AASHTO T283). | | |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

Para este estudio solo se necesitará realizar la mezcla utilizando el primer nivel, el cual solo requiere realizar el ensayo de diseño volumétrico, esto se debe a que no se necesita una gran resistencia nuestro diseño, puesto que, solo es diseñado para una ciclovía, la cual no tiene una carga vehicular considerables.

Para el diseño volumétrico, el único requerimiento para el diseño de mezclas del nivel 1, implica la fabricación de los especímenes de ensayo usando el compactador

giratorio y la selección del contenido de asfalto basado en los vacíos de aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (VAM), vacíos llenos de asfalto (VFA), y la relación polvo (filler)/contenido de asfalto efectivo. (Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

3.10.1. Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica

El objetivo de realizar los ensayos volumétricos es para obtener una estimación del contenido de asfalto o de la emulsión asfáltica de la mezcla objeto del diseño, el cual se requiere lo siguiente.

- La estimación del contenido de vacíos de aire en la mezcla denominada como (V_a)

$$V_a = 1 * \frac{G_{mb}}{G_{mm}} * 100$$

Fórmula 3. 6 Vacíos de aire

- La estimación del contenido de vacíos en el agregado mineral denominado como (VAM)

$$VAM = 100 - \frac{G_{mb} - (100 - CA)}{G_{sb}}$$

Fórmula 3. 7 Vacíos en el agregado mineral

- La estimación de contenido del contenido de vacíos llenos de asfalto (VFA)

$$VFA = \frac{VAM - V_a}{VAM} * 100$$

Fórmula 3. 8 Vacíos llenos de Asfalto

- La relación polvo / emulsión asfáltica efectivo
- La estimación del contenido efectivo de asfalto de la mezcla

El contenido de vacíos es una propiedad es un paso importante para la obtención del contenido de un ligante asfáltico, Superpave define los vacíos del agregado mineral (VAM) como la suma del volumen de vacíos de aire y del asfalto efectivo en una muestra compactada

A continuación, se presentará una tabla donde se encuentran los porcentajes mínimos en función del tamaño nominal.

Tabla 3. 7 Criterio para VAM

| Tamaño máximo de agregado | Porcentaje de VAM mínimo |
|---------------------------|--------------------------|
| 9,5 mm | 15,0 |
| 12,5 mm | 14,0 |
| 19,0 mm | 13,0 |
| 25,0 mm | 12,0 |
| 37.5 mm | 11,0 |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)

El rango aceptable del FVA de diseño para el 4% de vacíos de aire se encuentra en función del nivel de tránsito.

Tabla 3. 8 Criterio para VFA

| Tránsito, ESAL 's (millones) | Porcentaje de VAM de diseño |
|------------------------------|-----------------------------|
| < 0,3 | 70 – 80 |
| < 1 | 65 – 78 |
| < 3 | 65 – 78 |
| < 10 | 65 – 75 |
| < 30 | 65 – 75 |
| < 100 | 65 – 75 |
| >100 | 65 – 75 |

(Garnica Anguas, Delgado Alamilla, Gómez López, Romero, & Alarcón Orta, 2004)


4. Diseño de la mezcla Asfáltica

4.1. Cálculo de la combinación de agregados.

Para realizar la mezcla asfáltica por el método de Superpave se realizó la granulometría con la abertura con el exponente de 0.45 que nos indica este método. Para realizar la combinación de materiales se colocó el 7% del material grueso de ½, el 43% de material grueso de 3/8, y el 50% restante de material fino(arena), obtenido así un gráfico, el cual la línea granulométrica está dentro de los puntos de control y está cerca de la línea de máxima densidad.

A continuación, se indicará la combinación de material que se requiere para que la línea granulométrica este bien.

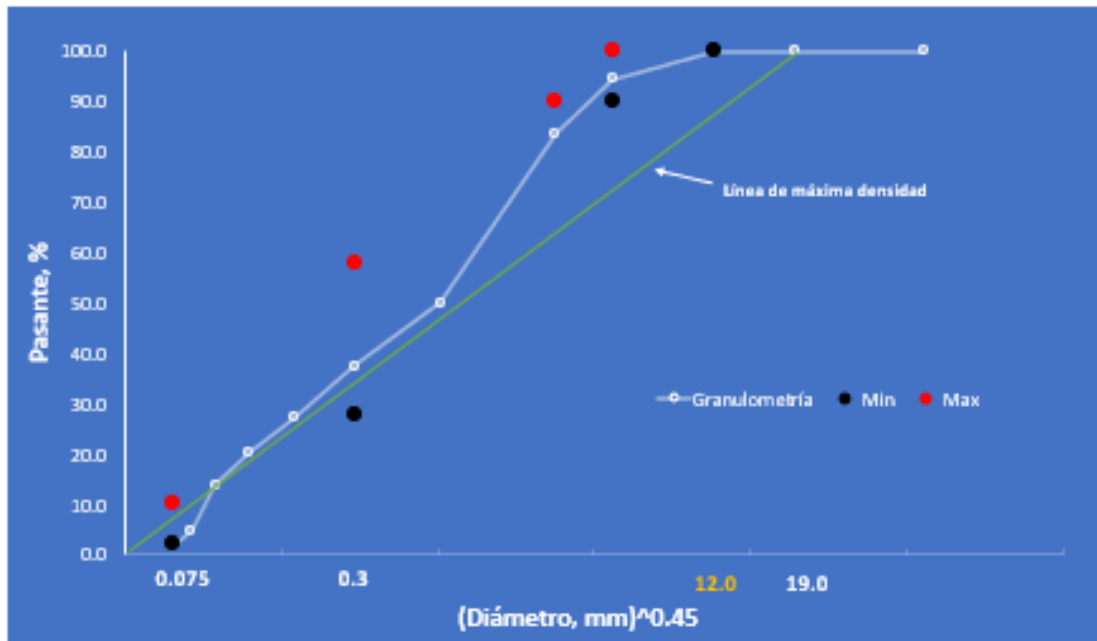
Tabla 4. 1 Porcentajes de proporción de agregados



| Abertura | 37.5 | 25.4 | 19 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 | |
|------------|------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| Proporción | Tamiz | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 30 | Nº 50 | Nº 100 | Nº 200 |
| 7.0% | Grava 1/2" | 100 | 100 | 100 | 19.046 | 0.9925 | 0.5792 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43.0% | Grava 3/8" | 100 | 100 | 100 | 100 | 78.094 | 4.3365 | 1.8064 | 1.7687 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50.0% | Arena | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.102 | 73.212 | 52.482 | 39.11 | 25.995 | 8.0032 | 2.413 |
| 100.0% | Total | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 94.3 | 83.7 | 50.0 | 37.4 | 27.0 | 19.6 | 13.0 | 4.0 | 1.2 |
| 12,5 mm | Espec. Min | | | 100 | 90 | | | 28 | | | | | 2 |
| | Espec- Max | | | | 100 | 90 | | 58 | | | | | 10 |

Tabla 4. 2 Curva Granulométrica

| Abertura | (D)^0.45 | Total | LMD | Min | Max |
|----------|----------|-------|-----|-----|-----|
| 37.5 | 5.11 | 100.0 | | | |
| 25.4 | 4.29 | 100.0 | | | |
| 19 | 3.76 | 100.0 | | 100 | |
| 12.5 | 3.12 | 94.3 | 100 | 90 | 100 |
| 9.5 | 2.75 | 83.7 | | | 90 |
| 4.75 | 2.02 | 50.0 | | | |
| 2.36 | 1.47 | 37.4 | | 28 | 58 |
| 1.18 | 1.08 | 27.0 | | | |
| 0.6 | 0.79 | 19.6 | | | |
| 0.3 | 0.58 | 13.0 | | | |
| 0.15 | 0.43 | 4.0 | | | |
| 0.075 | 0.31 | 1.2 | 0 | 2 | 10 |



Gráfica 4. 1 Curva granulométrica

Una vez que ya obtuvimos la combinación de agregados ideal el siguiente paso es calcular los pesos en base a los porcentajes obtenidos anteriormente, para esto utilizaremos una muestra de 1100gr basados en el manual de mezclas asfálticas en frío del instituto de asfalto, que nos dice que la masa requerida del bache debería ser de 1200gr aproximadamente. (Asphalt Institute, 1997)

Tabla 4. 3 Composición en peso de cada briqueta

| | Abertura | 37.5 | 25.4 | 19 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 | Pasante | | |
|--------|----------|------------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|-------|------|
| | Tamiz | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 30 | Nº 50 | Nº 100 | Nº 200 | Nº 200 | | |
| 7.0% | 77.00 | Grava 1/2" | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 62.33 | 13.90 | 0.32 | 0.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 77.00 | |
| 43.0% | 473.00 | Grava 3/8" | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 103.61 | 348.88 | 11.97 | 0.18 | 8.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 473 | |
| 50.0% | 550.00 | Arena | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.44 | 125.89 | 114.01 | 73.55 | 72.13 | 98.95 | 30.75 | 13.27 | 550 |
| 100.0% | 1100 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 62.33 | 117.51 | 370.63 | 138.31 | 114.19 | 81.91 | 72.13 | 98.95 | 30.75 | 13.27 | 1100 |

Con los datos obtenidos se realizó las diferentes muestras para la elaboración de las briquetas.

4.2. Cálculo de la gravedad específica de la combinación de agregados.

Una vez obtenido la mezcla de agregados lo siguiente a realizar es calcular la gravedad aparente de la mezcla de agregados y la gravedad bulk., la gravedad específica se obtiene de la mezcla asfáltica mediante el ensayo RICE.

Los valores que se obtuvieron a partir de los resultados individuales de cada agregado se los promedia para la obtención del Gsa y Gsb en base a los porcentajes

individuales de los mismos definidos en nuestra granulometría que presenta agregado grueso, agregado medio y agregado fino, es decir diferente gravedad específica por cada tipo de agregado, por lo tanto, calculamos la gravedad específica neta con la fórmula que se indica a continuación: (Sánchez, 2021)

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

Fórmula 4. 1 Gravedad específica de la combinación de agregados

Donde:

Gsb = gravedad específica neta para el agregado total

P1, P2, Pn = porcentajes individuales por masa de agregado

G1, G2, GN = gravedad específica neta individual delo agregado

Dando como resultado la siguiente tabla.

Tabla 4. 4 Resumen de gravedades de los agregados

| Proporción Agregado | Gsa | Gsb |
|---------------------|--------------|--------------|
| 7% Grueso | 2.796 | 2.531 |
| 43% Medio | 2.723 | 2.521 |
| 50% Fino | 2.835 | 2.628 |
| Promedio | 2.783 | 2.574 |

Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica

Para realizar el diseño de una mezcla asfáltica se necesita de la gravedad específica máxima, Gmm con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire, la gravedad específica máxima del asfalto se puede determinar mediante ASTM D 2041/AASHTO T 209, la presión del ensayo es mejor cuando la mezcla está cerca del contenido de asfalto de diseño.

La gravedad específica máxima para cualquier contenido de asfalto se obtiene con la siguiente ecuación, la cual supone que la gravedad efectiva del agregado es constante.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Fórmula 4. 2 Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica

Donde:

Gmm = Gravedad específica máxima de la mezcla del pavimento (sin vacíos de aire)

Pmm = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100

Ps = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla

Gse = Gravedad específica efectiva del agregado

Gb = Gravedad específica del asfalto

La gravedad específica efectiva (Gse) de nuestra mezcla asfáltica se calcula a partir de la fórmula que se indicará a continuación, una vez ya realizado el ensayo de densidad máxima teórica (por método RICE), obteniendo el valor de Gmm, el contenido de asfalto Pb, el mismo que se utilizó para el ensayo y la gravedad específica del cemento asfáltico (Gb).

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Fórmula 4. 3 Gravedad específica efectiva

Donde:

Gse = Gravedad específica efectiva del agregado.

Gmm = Gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041/ AASHTO T 209) de mezcla de pavimentos (sin vacíos de aire).

Pmm = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100.

Pb = Contenido de asfalto con el cual ASTM D2041/ AASHTO T 209 desarrolló el asfalto; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla.

Gb = Gravedad específica del asfalto.

| | |
|-----|-------|
| Gb | 1 |
| Pb | 7.803 |
| Gmm | 2.44 |

Gse 2.779

Para finalizar debemos tomar en cuenta la y realizar la comprobación de la validez de esta desigualdad $G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$, si esto no se cumple se debe revisar los resultados y se puede llegar a realizar de nuevo los ensayos.

Entonces comprobamos

$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$

$$2.783 > 2.779 > 2.574$$

(Sánchez, Geotech tips, 2021)

Definiciones de Vacíos

Según el Manual de RAMCODES 2009 podemos obtener los distintos parámetros como se muestra a continuación.

Trazando la curva de saturación o función Rice de forma analítica, introduciendo:

- Gb = 1
- Gsb = 2.574
- Gse = 2.779

Obteniendo así una tabla en base a las siguientes fórmulas:

$$G_{mb} = \frac{(1 - \frac{V_a}{V_{mb}})}{\frac{P_b}{G_b} + \frac{(1 - P_b)}{G_{se}}}$$

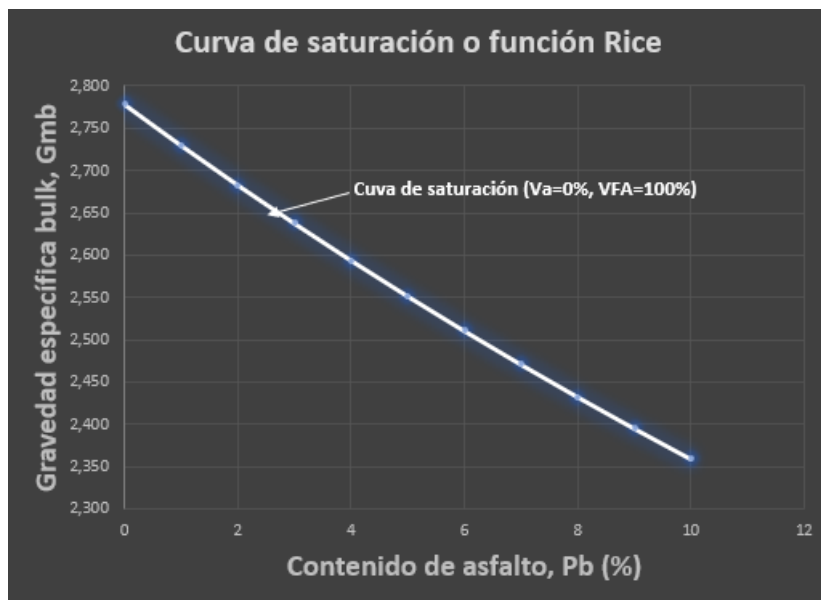
Fórmula 4. 4 Densidad Bulk de la mezcla

Para el caso de $V_a/V_{mb} = 0$, entonces,

$$G_{mb} = \frac{1}{\frac{P_b}{G_b} + \frac{(1 - P_b)}{G_{se}}}$$

Tabla 4. 5 Porcentajes de vacíos de aire

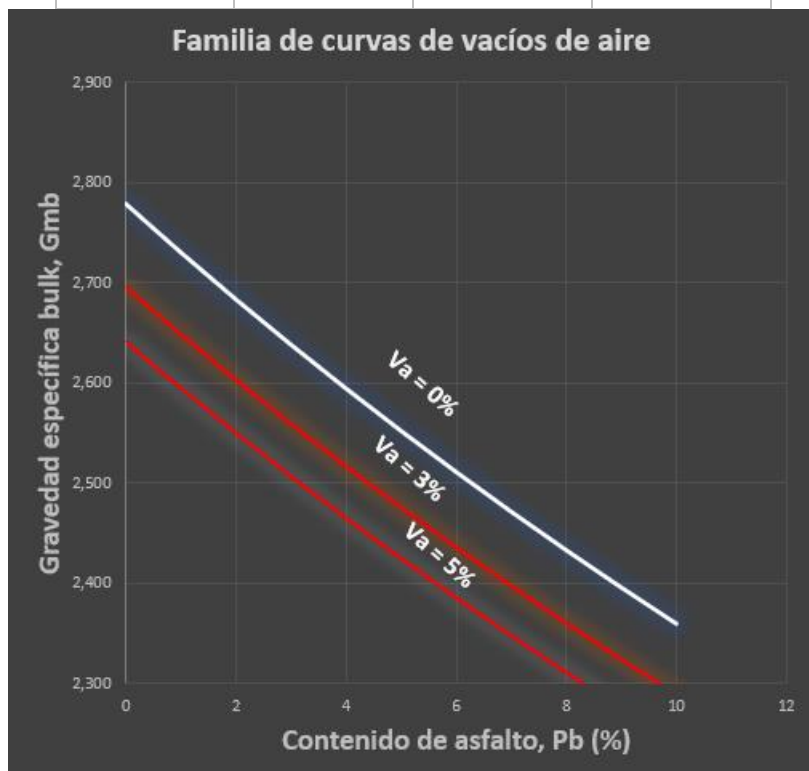
| Va (%) | 0 | 3 | 5 |
|---------------|------------|------------|------------|
| Pb | Gmb | Gmb | Gmb |
| 0 | 2,779 | 2,695 | 2,640 |
| 1 | 2,730 | 2,648 | 2,594 |
| 2 | 2,683 | 2,603 | 2,549 |
| 3 | 2,638 | 2,559 | 2,506 |
| 4 | 2,594 | 2,516 | 2,464 |
| 5 | 2,552 | 2,475 | 2,424 |
| 6 | 2,511 | 2,435 | 2,385 |
| 7 | 2,471 | 2,397 | 2,347 |
| 8 | 2,433 | 2,360 | 2,311 |
| 9 | 2,395 | 2,323 | 2,275 |
| 10 | 2,359 | 2,288 | 2,241 |



Gráfica 4. 2 Curva de saturación o función Rice

Tabla 4. 6 Vacíos de aire VA

| Va (%) | 0 | 3 | 5 |
|--------|-------|-------|-------|
| Pb | Gmb | Gmb | Gmb |
| 0 | 2,779 | 2,695 | 2,640 |
| 1 | 2,730 | 2,648 | 2,594 |
| 2 | 2,683 | 2,603 | 2,549 |
| 3 | 2,638 | 2,559 | 2,506 |
| 4 | 2,594 | 2,516 | 2,464 |
| 5 | 2,552 | 2,475 | 2,424 |
| 6 | 2,511 | 2,435 | 2,385 |
| 7 | 2,471 | 2,397 | 2,347 |
| 8 | 2,433 | 2,360 | 2,311 |
| 9 | 2,395 | 2,323 | 2,275 |
| 10 | 2,359 | 2,288 | 2,241 |



Gráfica 4. 3 Familia de curvas de vacíos de aire

VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (VAM)

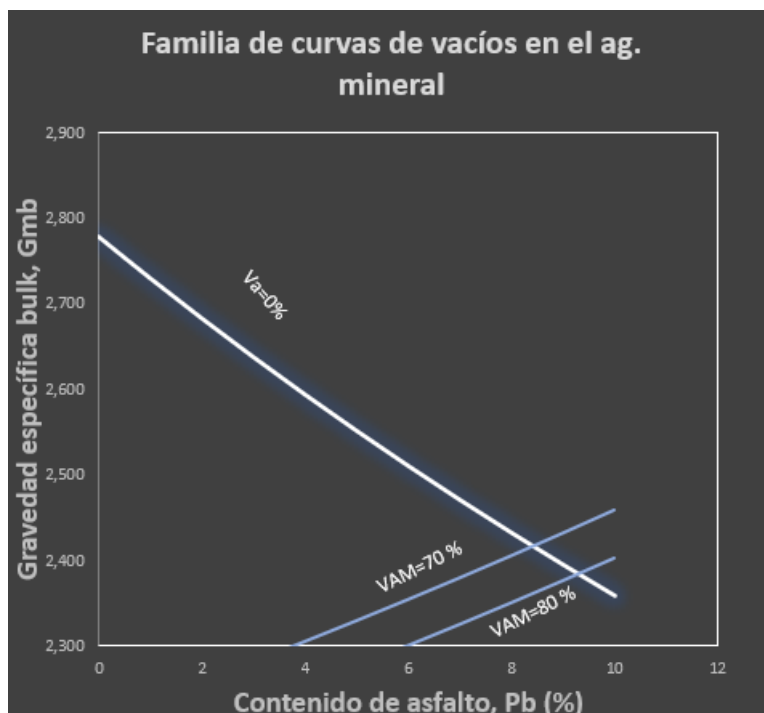
$$G_{mb} = \frac{(1 - \frac{V_v}{V_{mb}})}{(1 - P_b)} G_{sb}$$

Fórmula 4. 5 Gravedad específica Bulk de la mezcla

Tabla 4. 7 Vacíos en el agregado mineral (VAM)

| VAM (%) | 70 | 80 |
|----------------|------------|------------|
| Pb | Gmb | Gmb |
| 0 | 0,772 | 0,515 |
| 1 | 0,780 | 0,520 |
| 2 | 0,788 | 0,525 |
| 3 | 0,796 | 0,531 |
| 4 | 0,804 | 0,536 |
| 5 | 0,813 | 0,542 |
| 6 | 0,822 | 0,548 |
| 7 | 0,830 | 0,554 |
| 8 | 0,839 | 0,560 |
| 9 | 0,849 | 0,566 |
| 10 | 0,858 | 0,572 |

Gráfica 4. 4 Familia de curvas de vacíos en el agregado mineral



VACIOS LLENADOS CON ASFALTO (VFA)

Ecuación general, donde S es el grado de saturación.

$$G_{mb} = \frac{S}{\frac{P_b}{G_b} + \frac{(1 - P_b)}{G_{se}} - (1 - S) \frac{(1 - P_b)}{G_{sb}}}$$

Fórmula 4. 6 Gravedad específica Bulk de la mezcla

Abscisa de la intersección con curva de saturación

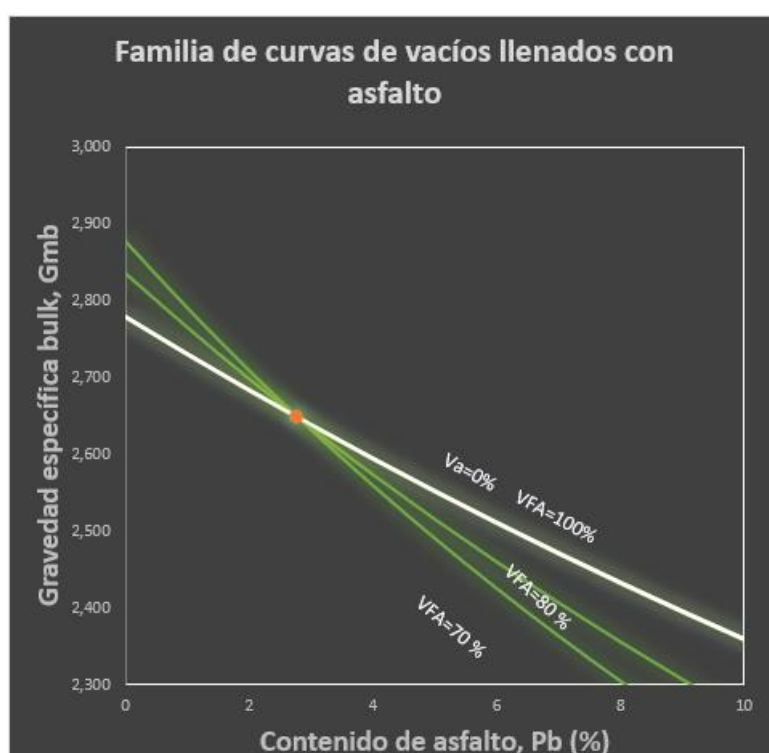
$$P_b = \frac{\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}}{\frac{1}{G_b} - \frac{1}{G_{se}} + \frac{1}{G_{sb}}}$$

Fórmula 4. 7 Asfalto de la mezcla

Tabla 4. 8 Vacíos llenos de asfalto

| VFA (%) | 70 | 80 | 100 |
|---------|-------|-------|-------|
| Pb | Gmb | Gmb | Gmb |
| 0 | 2,877 | 2,835 | 2,779 |
| 1 | 2,790 | 2,765 | 2,730 |
| 2 | 2,708 | 2,698 | 2,683 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|-------|
| 3 | 2,631 | 2,634 | 2,638 |
| 4 | 2,558 | 2,573 | 2,594 |
| 5 | 2,490 | 2,515 | 2,552 |
| 6 | 2,424 | 2,460 | 2,511 |
| 7 | 2,362 | 2,406 | 2,471 |
| 8 | 2,304 | 2,356 | 2,433 |
| 9 | 2,248 | 2,307 | 2,395 |
| 10 | 2,194 | 2,260 | 2,359 |



Gráfica 4. 5 Familia de curvas de vacíos llenados con asfalto

Producción de celulosa

Para nuestra investigación optamos por realizar un proceso casero para la obtención de nuestra materia prima, en este caso nuestra celulosa de papel reciclado se la ha realizado con un procedimiento muy similar al industrial que produce grandes cantidades de esta. Hemos planteado un esquema en base a las distintas fases que posee este procedimiento y como se muestra a continuación se detalla la manera en que se lo realizo de manera casera.

PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CELULOSA



(Cando & Mancero, Cálculos realizados para investigación, 2021)

(Carlos Preciado, 2013)

Adjuntamos algunas evidencias fotográficas

- 1) Selección del material



Fotografía 4. 1 Selección del material

2) Trituración



Fotografía 4. 2 Trituración en licuadora

3) Desinfección



Fotografía 4. 3 Desinfección con el uso de detergente y lejía

4) Mezclado



Fotografía 4. 4 Mezclado de material con agentes desinfectantes

5) Colado y Producto Final



Fotografía 4. 5 Colado y Proceso de secado

4.2.1. Obtención del porcentaje teórico de la emulsión asfáltica.

Para la obtención de este parámetro se ha usado la formula del Instituto del asfalto en base a nuestra granulometría calculada anteriormente, podremos reemplazar los datos que necesita dicha fórmula:

$$P = 0,035 a + 0,045 b + Kc + F$$

Fórmula 4. 8 Residuo de Asfalto

Donde:

a = Porcentaje de material árido retenido en el tamiz número 8

b = Porcentaje de material que pasa el tamiz 8 y retiene el número 200

c = Porcentaje de material pasante del tamiz número 200

K = Coeficiente de acuerdo al porcentaje de material pasante del tamiz No. 200

F = Coeficiente determinado por la absorción del material granular

Obtenemos

$$P = 0,035 (62.6) + 0,045 (36.2) + 0,20 \times (1.2) + 0.7$$

$$P = 4.076$$

Ahora se calcula el porcentaje de emulsión en base a que nuestra Emulsión CSS – 1h la cual nos dio un valor de 61% de residuo de asfalto.

Calculamos:

$$P_b = (4.076/61) * 100 = 7.803$$

Fórmula 4. 9 Porcentaje teórico de emulsión asfáltica

4.2.2. Obtención del porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica.

Aplicando la metodología RAMCODES, y en base a parámetros obtenidos de nuestros materiales se puede calcular el porcentaje de contenido óptimo de la emulsión asfáltica a partir del polígono de vacíos.

Tabla 4. 9 Gravedades específicas y Especificaciones de vacíos

| Gravedades específicas | | Especificaciones de vacíos | | |
|--|-------|--------------------------------------|-----|----|
| | | min | max | |
| Gravedad específica Emulsion, Gb | 1 | Vacios de aire, Va (%) | 3 | 5 |
| Gravedad específica bulk del agregado, Gsb | 2,574 | Vacios llenos de emulsión, VFA (%) | 70 | 80 |
| Gravedad específica efectiva del agregado, Gse | 2,779 | Vacios del agregado mineral, VMA (%) | 14 | 16 |

Gráfica 4. 6 Elaboración del Polígono de Vacíos

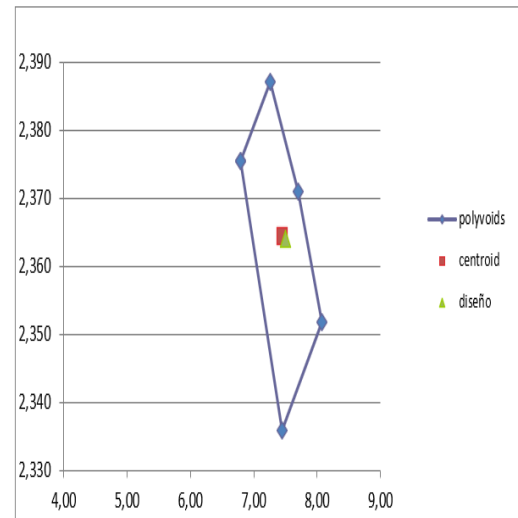
Vertices del Polígono de Vacíos

| Point | Pb | Gmb |
|-------|------|-------|
| 5 | 6,79 | 2,375 |
| 2 | 7,26 | 2,387 |
| 9 | 7,70 | 2,371 |
| 7 | 8,08 | 2,352 |
| 8 | 7,45 | 2,336 |
| 5 | 6,79 | 2,375 |
| 0 | | |

Coordenadas del centroide

| Centroide | |
|-----------|--------|
| n | 5,000 |
| Pbavg | 7,46 % |
| Gmbavg | 2,364 |

Gráfico



(Cando & Mancero, Calculos realizados para investigación, 2021)

El valor que nos muestra el centroide de la figura es de 7.46 para nuestra investigación hemos optado por 7.5% de emulsión asfáltica.

4.2.3. Ensayos volumétricos mezcla asfáltica tradicional.

La gravedad específica compactada (Gmb) se realiza con el fin de poder estimar el grado de densificación de la mezcla asfáltica, debemos tener en cuenta que dicho valor obtenido solo es una estimación que se tendrá de la mezcla asfáltica una vez ya colocado en el pavimento, esto se debe a que, una vez colocado el pavimento, este se va a sufrir una densificación debido al paso de vehículos. (Paul , Horacio , & Carlos Daniel Sandoval Sandoval, 2005)

Esta densidad se obtiene mediante la siguiente formula.

$$Gmb = \frac{Wa}{W_{SS} - W_w}$$

Fórmula 4. 10 Gravedad específica compactada

Donde:

Wa = Masa de la briqueta seca

Wss = Masa de la briqueta saturada en el aire y superficialmente seca

Ww = Masa de la briqueta saturada bajo el agua

Una vez realizado todo lo necesario se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4. 10 Resultados de ensayos Densidad Bulk Mezcla Tradicional

| %celulos | | peso despues de 24h | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|---------------------|---------|---------|---------|------------|--------------|-------|-------|-----------|-------------------|---------|------|------|
| 2 | 3 | 4 | 08:50 | 09:05 | 09:26 | DIFERENCIA | DIFERENCIA 2 | % | % | PESO SECO | PESO EN AGUA SECA | % ABS | BULK | |
| | | | 1120.77 | 1120.56 | 1120.56 | 0.21 | 0.00 | 0.019 | 0.000 | 1120.77 | 643.89 | 1124.5 | 0.78 | 2.33 |
| | | | 1118.06 | 1117.82 | 1117.78 | 0.24 | 0.04 | 0.021 | 0.004 | 1117.92 | 642.32 | 1122.3 | 0.91 | 2.33 |
| | | | 1128.77 | 1128.74 | 1128.7 | 0.03 | 0.04 | 0.003 | 0.004 | 1128.54 | 650.35 | 1133.93 | 1.08 | 2.33 |



Fotografía 4. 6 Briquetas mezcla tradicional, 2 y 3 % de celulosa para realizar ensayos



Fotografía 4. 7 Ensayos Densidad Bulk



Fotografía 4. 8 Secado muestras Densidad Bulk

Los resultados que obtuvimos a partir de los ensayos volumétricos de la mezcla tradicional a partir del ensayo de la gravedad específica máxima y la gravedad bulk se obtuvo como V_a lo siguiente:

$$V_a = 1 * \frac{G_{mb}}{G_{mm}} * 100$$

Fórmula 4. 11 Vacíos de Aire

| # Briqueta | Gmm | Gmb | Va |
|------------|------|------|------|
| 1 | 2.44 | 2.33 | 4.43 |
| 2 | 2.44 | 2.33 | 4.55 |
| 3 | 2.44 | 2.33 | 4.36 |

Tabla 4. 11 Resultados Vacíos de aire

Para el porcentaje de vacíos del agregado se utilizó la siguiente formula y se obtuvo el resultado que se indicara a continuación.

$$V. agr\% = \frac{(100 - \%asfalto) * DBulk}{Gsb}$$

Fórmula 4. 12 Vacíos del agregado

Para obtener los vacíos de agregado mineral (VAM) debemos seguir la siguiente formula teniendo los siguientes resultados.

$$VAM = 100 - V. agr.$$

Fórmula 4. 13 Vacíos del agregado mineral

| #Briqueta | %Vagr | VAM |
|-----------|-------|-------|
| 1 | 83.80 | 16.20 |
| 2 | 83.70 | 16.30 |
| 3 | 83.87 | 16.13 |

Tabla 4. 12 Resultados Vacíos del agregado mineral

Para los vacíos llenos de asfalto (VFA) se tiene la siguiente formula con la cual se obtuvo los siguientes resultados.

$$VFA = \frac{VAM - Va}{VAM} * 100$$

Fórmula 4. 14 Vacíos llenos de asfalto

| #Briqueta | VAM | Va | VFA |
|-----------|-------|------|------------|
| 1 | 16.20 | 4.43 | 72.6668165 |
| 2 | 16.30 | 4.55 | 72.1168627 |
| 3 | 16.13 | 4.36 | 73.0039038 |

Tabla 4. 13 Resultados Vacíos llenos de asfalto

4.2.4. Ensayos volumétricos mezcla asfáltica modificada.

Para obtener estos resultados se realizó lo mismo que con la mezcla tradicional, lo único diferente es la briqueta, puesto que, estas briquetas contienen los porcentajes de 2% y 3% de celulosa adicional y se llegó a obtener los siguientes resultados que se indicaran a continuación.

Tabla 4. 14 Resultados de ensayos Densidad Bulk Mezcla Modificada

| %celulos | | peso despues de 24h | | | | DIFERENCIA | DIFERENCIA 2 % | % | | PESO SECO | PESO EN AGUA SECA | % ABS | BULK | |
|----------|---------|---------------------|---------|---------|---------|------------|----------------|-------|-------|-----------|-------------------|---------|------|------|
| 2 | 3 | 4 | 08:50 | 09:05 | 09:26 | | | | | | | | | |
| 22.01 | | | 1121.95 | 1121.94 | 1121.87 | 0.01 | 0.07 | 0.001 | 0.006 | 1121.71 | 642.47 | 1127.02 | 1.10 | 2.31 |
| 22.02 | | | 1112.86 | 1112.72 | 1112.67 | 0.14 | 0.05 | 0.013 | 0.004 | 1113.22 | 639.25 | 1118.12 | 1.02 | 2.32 |
| 22.00 | | | 1135.8 | 1135.8 | 1135.8 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 1135.8 | 649.23 | 1140.82 | 1.02 | 2.31 |
| | 3300.75 | | 1126.55 | 1126.37 | 1126.35 | 0.18 | 0.02 | 0.016 | 0.002 | 1126.37 | 650.25 | 1131.52 | 1.07 | 2.34 |
| | 33.03 | | 1126.63 | 1126.55 | 1126.45 | 0.08 | 0.10 | 0.007 | 0.009 | 1126.82 | 655.21 | 1132.21 | 1.13 | 2.36 |
| | 33.00 | | 1147.14 | 1147.14 | 1147.14 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 1147.14 | 663 | 1153.65 | 1.33 | 2.34 |

Los resultados que obtuvimos a partir de los ensayos volumétricos de la mezcla modificada con el 2% y 3% de celulosa respectivamente a partir del ensayo de la gravedad específica máxima y la gravedad bulk se obtuvo como Va lo siguiente:

| # Briqueta | Gmm | Gmb | Va |
|------------|------|------|------|
| 4 | 2.44 | 2.31 | 5.12 |
| 5 | 2.44 | 2.32 | 4.73 |
| 6 | 2.44 | 2.31 | 5.31 |

Tabla 4. 15 Resultados Vacíos de Aire, briquetas 2%

| # Briqueta | Gmm | Gmb | Va |
|------------|------|------|------|
| 7 | 2.44 | 2.34 | 4.08 |
| 8 | 2.44 | 2.36 | 3.18 |
| 9 | 2.44 | 2.34 | 4.18 |

Tabla 4. 16 Resultados Vacíos de Aire, briquetas 3%

Para el porcentaje de vacíos del agregado para las briquetas modificadas con el 2% y 3% de celulosa se obtuvieron los siguientes resultados respectivamente.

| # Briqueta | D.Bulk | %Asfalto | Gsb | V.agr |
|------------|--------|----------|-------|-------|
| 4 | 2.31 | 7.5 | 2.574 | 83.19 |
| 5 | 2.32 | 7.5 | 2.574 | 83.54 |
| 6 | 2.31 | 7.5 | 2.574 | 83.03 |

Tabla 4. 17 Resultados Vacíos de Agregado, briquetas 2%

| # Briqueta | D.Bulk | %Asfalto | Gsb | V.agr |
|------------|--------|----------|-------|-------|
| 7 | 2.34 | 7.5 | 2.574 | 84.11 |
| 8 | 2.36 | 7.5 | 2.574 | 84.89 |
| 9 | 2.34 | 7.5 | 2.574 | 84.02 |

Tabla 4. 18 Resultados Vacíos de Agregado, briquetas 3%

Para obtener los vacíos de agregado mineral (VAM) de la mezcla modificada con el 2% y 3% de celulosa obtuvimos los siguientes resultados.

| #Briqueta | %Vagr | VAM |
|-----------|-------|-------|
| 4 | 83.19 | 16.81 |
| 5 | 83.54 | 16.46 |
| 6 | 83.03 | 16.97 |

Tabla 4. 19 Resultados Vacíos de agregado mineral, briquetas 2%

| #Briqueta | %Vagr | VAM |
|-----------|-------|-------|
| 7 | 84.11 | 15.89 |
| 8 | 84.89 | 15.11 |
| 9 | 84.02 | 15.98 |

Tabla 4. 20 Resultados Vacíos de agregado mineral, briquetas 3%

Para los vacíos llenos de asfalto (VFA) de la mezcla modificada con el 2% y 3% de celulosa se obtuvo los siguientes resultados.

| #Briqueta | VAM | Va | VFA |
|-----------|-------|------|-------|
| 4 | 16.81 | 5.12 | 69.51 |
| 5 | 16.46 | 4.73 | 71.29 |
| 6 | 16.97 | 5.31 | 68.72 |

Tabla 4. 21 Resultados Vacíos llenos de asfalto, briquetas 2%

| #Briqueta | VAM | Va | VFA |
|-----------|-------|------|-------|
| 7 | 15.89 | 4.08 | 74.32 |
| 8 | 15.11 | 3.18 | 78.92 |
| 9 | 15.98 | 4.18 | 73.84 |

Tabla 4. 22 Resultados Vacíos llenos de asfalto, briquetas 3%

4.3. Análisis y evaluación de resultados de laboratorio y costos.

4.3.1. Mezcla tradicional

| # | peso | %emulsion | | %agua | Metodo | %celulos | | |
|---|---------|-----------|-----|-------|--------|----------|---|---|
| - | gr | 7.5 | 9.5 | 3 | | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 1099.38 | 82.45 | | 32.98 | SP | | | |
| 2 | 1100.48 | 82.54 | | 33.01 | SP | | | |
| 3 | 1100.45 | 82.53 | | 33.01 | SP | | | |
| 4 | 1099.63 | 82.47 | | 32.99 | SP | | | |

Tabla 4. 23 Pesos para elaboración de briquetas mezcla tradicional

4.3.2. Mezcla modificada con la fibra de celulosa de desechos sanitarios no tóxicos

| # | peso | %emulsion | | %agua | Metodo | %celulos | | |
|----|---------|-----------|-----|-------|--------|----------|---------|-------|
| - | gr | 7.5 | 9.5 | 3 | | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 1100.48 | 82.54 | | 33.01 | SP | 22.01 | | |
| 6 | 1100.83 | 82.56 | | 33.02 | SP | 22.02 | | |
| 8 | 1100.09 | 82.51 | | 33.00 | SP | 22.00 | | |
| 9 | 1100.25 | 82.52 | | 33.01 | SP | | 3300.75 | |
| 11 | 1100.97 | 82.57 | | 33.03 | SP | | 33.03 | |
| 12 | 1100.01 | 82.50 | | 33.00 | SP | | 33.00 | |
| 13 | 1099.48 | 82.46 | | 32.98 | SP | | | 43.98 |
| 14 | 1100.64 | 82.55 | | 33.02 | SP | | | 44.03 |
| 15 | 1100.18 | 82.51 | | 33.01 | SP | | | 44.01 |

Tabla 4. 24 Pesos para elaboración de briquetas mezcla modificada

| RESUMEN DE DATOS | | | | | | |
|------------------|------------|------|------|-------|-------|--|
| % ASFALTO | % CELULOSA | BULK | Va | VAM | VFA | |
| 7.5 | 2 | 4.2 | 2.34 | 16 | 73.76 | |
| 7.5 | 3 | 3.8 | 2.35 | 15.66 | 75.7 | |

Tabla 4. 25 Resumen de parámetros volumétricos mezcla modificada

(Cando & Mancero, Calculos realizados para investigación, 2021)

NOTA: Los valores que se presentan son el promedio de los ensayos de las 3 briquetas realizadas con el diferente porcentaje de celulosa.

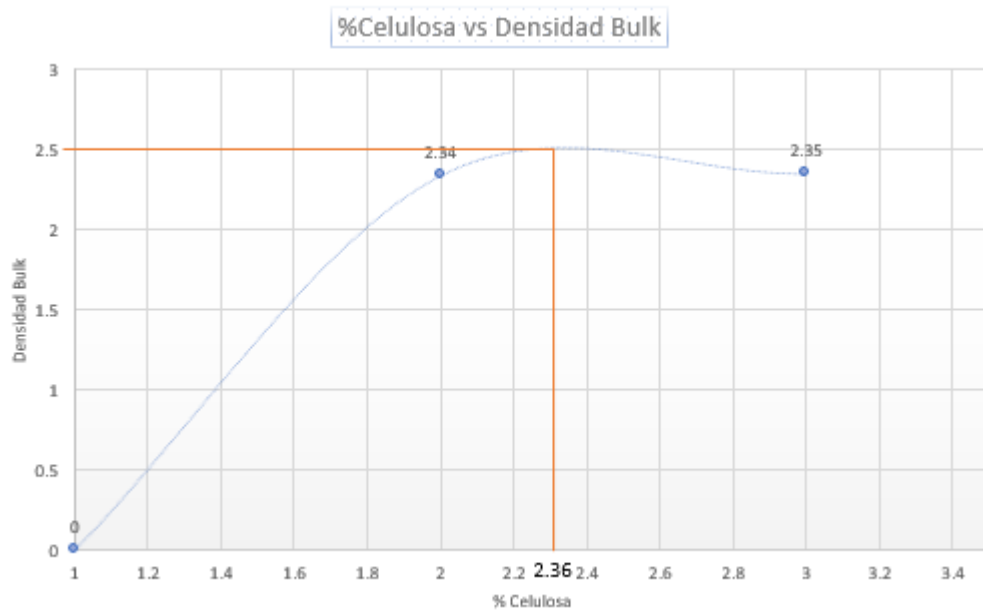
Una vez analizados los datos se puede decir que el porcentaje óptimo de celulosa

que se debe añadir a la mezcla asfáltica es del 2.24%, con esta cantidad los valores obtenidos son los siguientes:

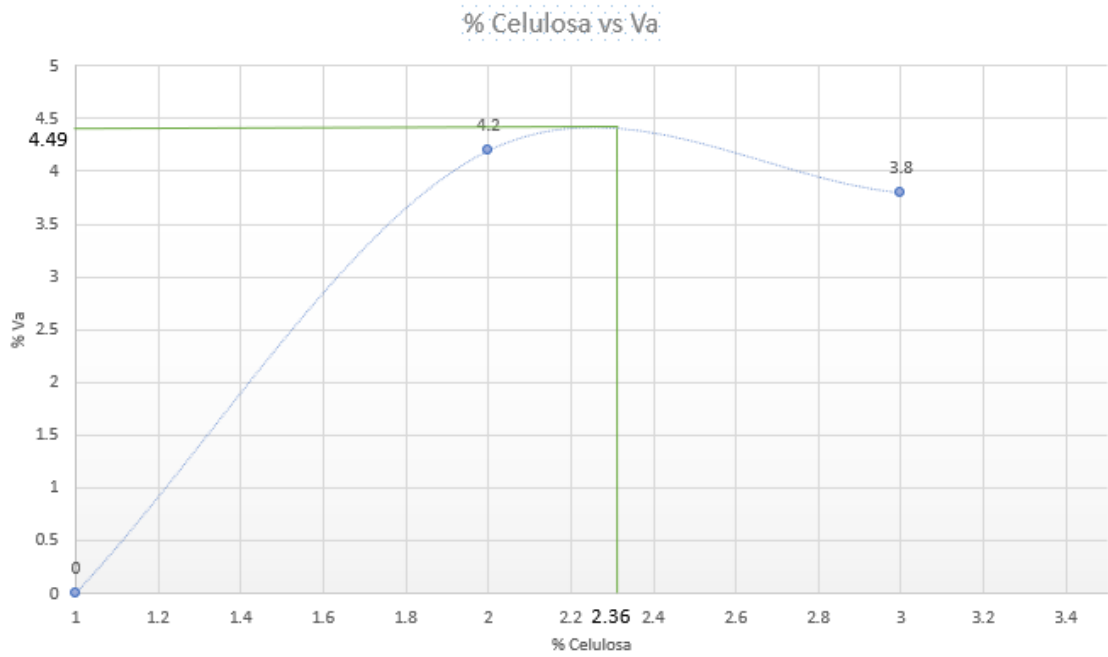
| | |
|---------------|------|
| %Asfalto | 7.5 |
| %Celulosa | 2.36 |
| Densidad Bulk | 2.5 |
| %Va | 4.47 |
| %VAM | 17 |
| %VFA | 79.9 |

Tabla 4. 26 Porcentajes de briqueta con porcentaje óptimo de celulosa

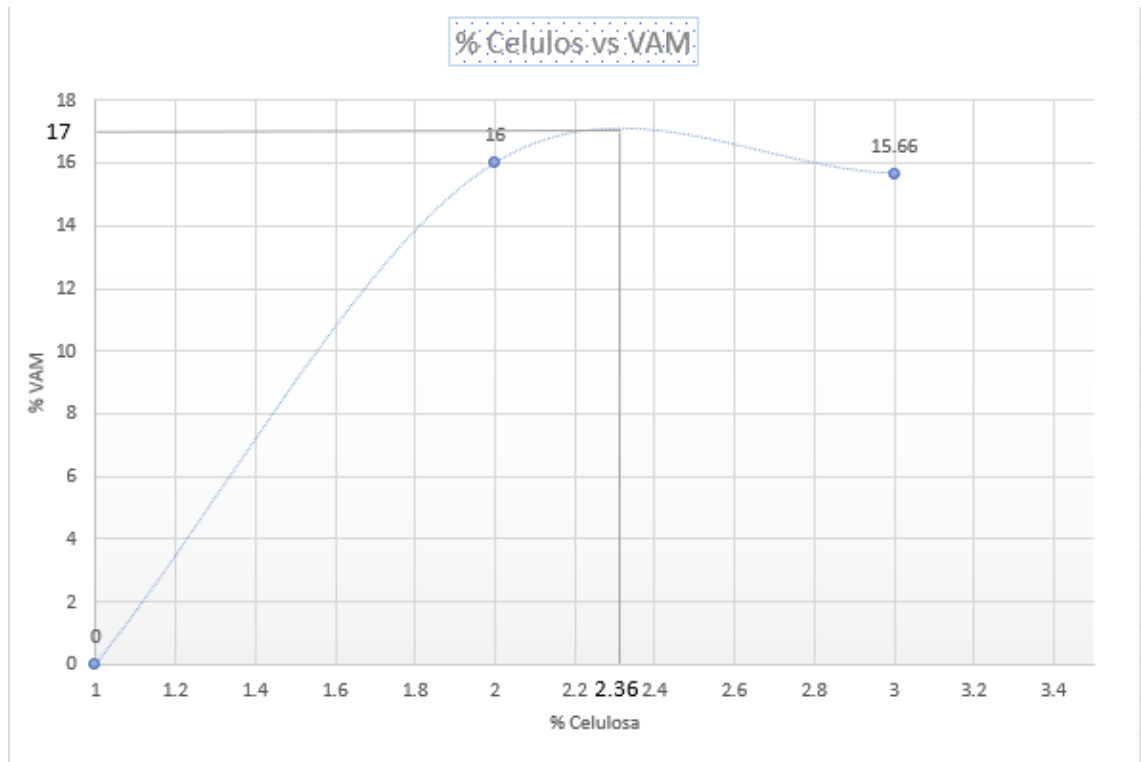
Gráfica 4. 7 % Celulosa vs Densidad Bulk (Porcentaje óptimo)



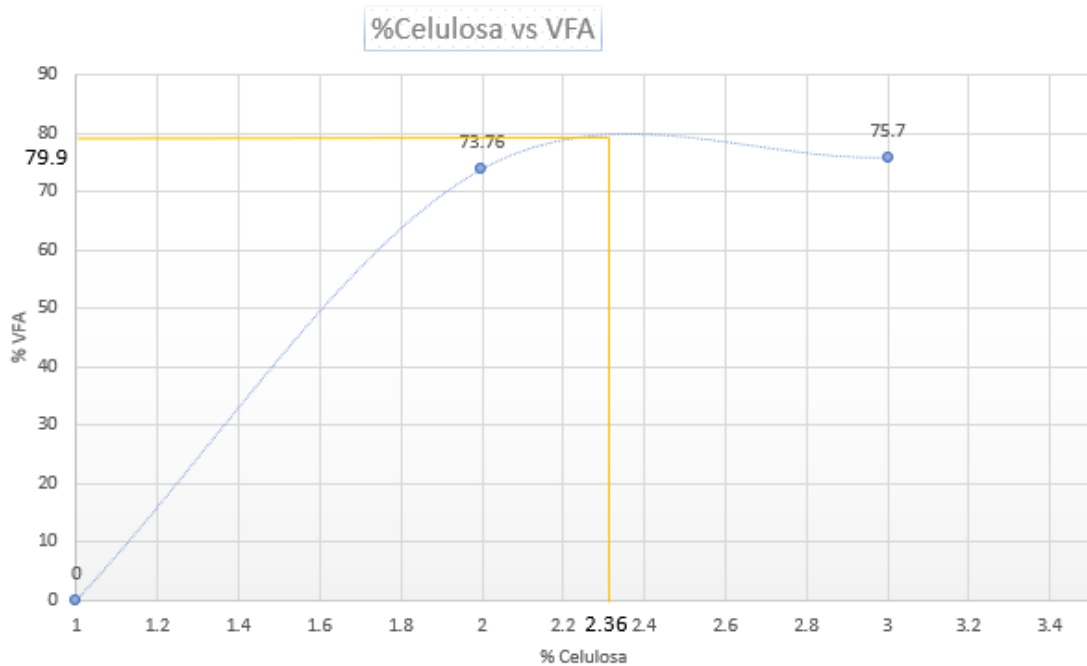
Gráfica 4. 8 % Celulosa vs Vacíos de aire (Porcentaje óptimo)



Gráfica 4. 9 % Celulosa vs Vacíos de agregado mineral (Porcentaje óptimo)



Gráfica 4. 10 % Celulosa vs Vacíos llenos de asfalto (Porcentaje óptimo)



4.3.3. Comparación de resultados de la mezcla tradicional vs mezcla modificada en función de los ensayos volumétricos.

Como podemos observar los parámetros volumétricos que se obtuvieron a través de los ensayos volumétricos, varían de entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con celulosa, mientras el porcentaje de celulosa es más alto los vacíos disminuyen, sin embargo, esto puede ser perjudicial para la mezcla, puesto que, deja poco espacio para que al momento que la temperatura suba y el asfalto se expanda por el calor, este no tenga vacías que rellenar provocando que el pavimento exude hacia el exterior, por este motivo, se realizó el porcentaje óptimo del asfalto, el cual salió el 2.36% de asfalto con unos parámetros de vacíos dentro de los rangos para el tipo de tráfico que se ha diseñado.

| Resumen de datos | | | | |
|------------------|-----------|------|-------|-------|
| %Emulsion | %Celulosa | Va% | VAM% | VFA% |
| 7.5 | 0 | 4.44 | 16.21 | 72.60 |
| 7.5 | 2 | 4.2 | 16 | 73.76 |
| 7.5 | 3 | 3.82 | 15.66 | 75.70 |

Tabla 4. 27 Parámetros volumétricos de nuestras briquetas

(Cando & Mancero, Calculos realizados para investigación, 2021)

4.3.4. Módulo de Rigidez

Para la determinación de los modos de rigidez se realizaron las briquetas con el 7.5% de emulsión la mezcla tradicional, mezcla modificada con el 2% y 3% de celulosa y con el 9.5% de emulsión se realizaron briquetas con la mezcla tradicional y mezcla modificada con el 3% de celulosa, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4. 28 Módulos de rigidez de briquetas ensayadas

| Muestra | % Emulsion | % Celulosa | Deformacion Lateral (um) | Módulo de Rigidez (Mpa) |
|---------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 7.5 | 0 | 5.724 | 945 |
| 2 | 7.5 | 0 | 5.725 | 941 |
| 3 | 7.5 | 0 | 5.329 | 939 |
| 4 | 7.5 | 2 | 2.45 | 1146 |
| 5 | 7.5 | 2 | 2.459 | 1150 |
| 6 | 7.5 | 2 | 2.454 | 1147 |
| 7 | 7.5 | 3 | 2.45 | 1151 |
| 8 | 7.5 | 3 | 2.464 | 1157 |
| 9 | 7.5 | 3 | 2.55 | 1158 |
| 10 | 9.5 | 0 | 4.702 | 1225 |
| 11 | 9.5 | 3 | 4.348 | 1378 |

Existe una variación considerable tanto en el módulo de rigidez como en la deformación lateral, respecto a las briquetas con la mezcla tradicional y con las briquetas con la mezcla modificada.

4.3.5. Costos

4.3.5.1. Costos de mezcla tradicional

Como dato obtuvimos un volumen promedio de briketa de 523 cm³

Tabla 4. 29 Material para la elaboración de una briketa mezcla tradicional

| MATERIALES | PESO [gr] |
|------------|-----------|
| Agregado | 1100 |
| Asfalto | 82,5 |

Tabla 4. 30 Porcentajes y pesos del agregado mineral

| AGREGADO | PORCENTAJE % | PESO [gr] |
|----------|--------------|-----------|
| Grueso | 7 | 77 |
| Medio | 43 | 473 |
| Fino | 50 | 550 |

Una vez calculado los pesos correspondientes procedemos a calcular por

relación los volúmenes necesarios para la realización de un m³ de mezcla tradicional.

| | |
|-------------------------|------------|
| 0,000523 m ³ | 1,1 Kg |
| 1 m ³ | 2103,25 Kg |

Tabla 4. 31 Material para la elaboración de 1 m³ de mezcla tradicional

| MATERIALES | PESO [Kg] |
|------------|-----------|
| Agregado | 2103,25 |
| Asfalto | 157,74 |

Tabla 4. 32 Porcentajes y pesos del agregado mineral para 1 m³ de mezcla tradicional

| AGREGADO | PORCENTAJE % | PESO [gr] |
|----------|--------------|-----------|
| Grueso | 7 | 147,23 |
| Medio | 43 | 904,40 |
| Fino | 50 | 1051,63 |

Una vez obtenidos los pesos correspondientes realizamos nuestro presupuesto de materiales en base a los precios existentes en el mercado, se ha realizado un análisis de costo por cada kilogramo de material para obtener el costo total de un m³ de mezcla tradicional.

Tabla 4. 33 Presupuesto de materiales para la elaboración de 1m³ de mezcla tradicional

| PRESUPUESTO DE MATERIALES | | | |
|---------------------------|---------------|-------------|----------------|
| MATERIALES | CANTIDAD [Kg] | P.U [\$/Kg] | P. TOTAL [\$/] |
| Agregado Grueso | 147,23 | 0,008 | 1,18 |
| Agregado Medio | 904,40 | 0,008 | 7,24 |
| Arena | 1051,63 | 0,007 | 7,36 |
| Asfalto | 157,74 | 0,38 | 59,94 |
| TOTAL | | | 75,72 |

4.3.5.2. Costos de mezcla modificada con la fibra de celulosa de desechos sanitarios no tóxicos

Como dato obtuvimos un volumen promedio de briqueta de 550 cm³ ya que por el aumento de celulosa a la mezcla tradicional este se vio modificado

Tabla 4. 34 Material para la elaboración de una briqueta mezcla modificada con celulosa

| MATERIALES | PESO [gr] |
|------------|-----------|
| Agregado | 1100 |
| Asfalto | 82,5 |
| Celulosa | 33 |

Tabla 4. 39 Presupuesto de materiales para la elaboración de 1m³ de mezcla modificada con celulosa

| PRESUPUESTO DE MATERIALES | | | |
|---------------------------|---------------|-------------|----------------|
| MATERIALES | CANTIDAD [Kg] | P.U [\$/Kg] | P. TOTAL [\$/] |
| Agregado Grueso | 140,00 | 0,008 | 1,12 |
| Agregado Medio | 860,00 | 0,008 | 6,88 |
| Arena | 1000,00 | 0,007 | 7,00 |
| Asfalto | 150,00 | 0,38 | 57,00 |
| Celulosa de Papel | 60,00 | 0,47 | 28,20 |
| TOTAL | | | 100,20 |

(Cando & Mancero, Calculos realizados para investigación, 2021)

4.3.5.3. Comparación de los costos de la mezcla tradicional vs la mezcla modificada.

Como podemos observar la diferencia entre los costos de producción entre nuestra mezcla asfáltica tradicional y nuestra mezcla asfáltica modificada es de 24.48 dólares pero debemos tomar en cuenta que la relación costo beneficio va mucho más allá de este valor adicional ya que en futuros proyectos el costo de realización de un kg de celulosa de papel puede verse reducido si el proceso de producción de esta materia prima se automatiza buscando lograr una mayor producción para este tipo de proyectos que trabajan en beneficio del medio ambiente con estas nuevas metodologías de uso para desechos reutilizables.

También podemos basarnos en los datos de recolección de desechos de papel que tomamos del estudio realizado por la INEC, “*Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2019*” solo el 11.11% de los desechos sólidos producidos en la ciudad de Quito pertenecen al tipo de residuo requerido para la realización de este estudio de mezclas asfálticas ecológicas, las cuales son pañales, desechables/papel higiénico/toallas sanitarias. Teniendo en cuenta que obtenemos 2008.7 ton/día de recolección” que dichos materiales ya no ocuparían un espacio en los botaderos o rellenos sanitarios, para los cuales le estaríamos dando un mejor fin a este material.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- En base a nuestros resultados podemos observar el incremento en módulo de rigidez entre nuestra briqueta de 7.5% de emulsión con 3% de celulosa de papel y nuestra briqueta de 9.5% de emulsión con 3% de celulosa de papel, porque al utilizar más ligante asfáltico logramos una mejor briqueta, optamos por 9.5% de emulsión para comparar nuestro diseño con una briqueta que utiliza el asfalto residual promedio en el Ecuador el cual varía de 5 a 6. Esto nos deja abierto la posibilidad para una nueva investigación con la celulosa con este porcentaje de emulsión asfáltica.
- La producción de celulosa de papel reciclado a nivel industrial podría abaratar costos de producción en comparación con el proceso que implementamos en nuestra investigación, esto sería un beneficio ecológico y podría incentivarse a hacerlo buscando más fines para este desecho sólido reutilizable.
- Nuestra investigación contemplaba 3 porcentajes de celulosa de papel 2,3 y 4 % pero el 4% no se la pudo evaluar ya que dicho incremento en el volumen de la briqueta excedía en medidas de nuestra briqueta como lo especifica la norma MTOP.
- La metodología RAMCODES optimizó nuestro diseño tanto en tiempo como en dinero por el número de probetas que necesita evaluar para demostrar resultados confiables y se la puede aplicar a los diseños tanto Marshall como Superpave.
- Con la mezcla tradicional por el método de Superpave se obtuvieron los siguientes resultados en el diseño volumétrico, con el 7.5% de asfalto tiene como $V_a=4.44\%$, $V_{AM}=16.21$ y $V_{FA}=72.60$, con lo que podemos concluir que todos los parámetros de vacíos se encuentran dentro del rango, el cual

corresponde al diseño volumétrico de tráfico liviano el cual son las ciclovías que se tiene como parámetros de $V_a=3$ a 5 , $V_{AM}=14$ a 16 y por último $V_{FA}=70$ a 80 .

- El porcentaje de vacíos V_a de la mezcla modificada con celulosa al 2% es de 4.20% comparando con el porcentaje de vacíos de la mezcla tradicional que es el 4.44%, podemos notar que existe una reducción de vacíos (V_a) de 0.24%, el cual nos indica que disminuye las deformaciones del pavimento.
- Por otro lado, se observa que el porcentaje de vacíos (V_a) de la mezcla modificada con el 3% de celulosa es de 3.82%, el cual se encuentra dentro del rango de 3% y 5% y se puede decir que esta soportara más las deformaciones que va a sufrir el pavimento en comparación a la mezcla tradicional y mezcla modificada con el 2% de celulosa.
- Realizando la comparación entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con el 2% de celulosa, podemos decir que el costo adicional es de \$24.48, sin embargo, es importante recalcar el beneficio hacia el medio ambiente al reutilizar los desechos sanitarios no toxico como es el papel higiénico, y así no enviar hacia los rellenos sanitarios o en el peor de los casos a incinerarlos.
- Al colocar celulosa de desechos sanitarios no tóxicos en la mezcla tradicional, se puede observar el aumento en el módulo de rigidez, siendo así con el 2% de celulosa tenemos un resultado promedio de 1147.67 MPa, mientras que con el 3% de celulosa tenemos un valor de 1155.33 MPa, estos valores son mayores a la mezcla tradicional el cual fue de 941.67 MPa.
 - Con los datos obtenidos de recolección de desechos de la ciudad de Quito, sabemos que de las 2000.9 ton/día que produce la ciudad el 11.11% perteneces a papel, pañales, servilletas y entre otros desechos de los cuales podemos recolectar la celulosa requerida para nuestro pavimento ecológico, esto viene a ser

222.30 ton/día las cuales podrían ser usadas para la creación de ciclovías ecológicas bajo esta metodología y para la implementación de nuevos proyectos en toda la zona urbana.

5.2. Recomendaciones

- Cabe recalcar la importancia de la calidad y granulometría del material es un punto muy primordial ya que de ella partimos todo este diseño, se recomienda trabajar con material de calidad para poder utilizar la metodología de RAMCODES y los beneficios que esta presenta en el diseño de una mezcla asfáltica.
- Es de suma importancia mantener los parámetros de vacío (Va) dentro del rango 3% y 5%, puesto que, al tener temperaturas altas el pavimento al expandirse pueda llenar los vacíos y así no provocar que el pavimento exudación hacia el exterior.
- Al realizar las briquetas con la mezcla modificada con celulosa no se debe colocar más del 3% de celulosa, puesto que, el volumen de la briqueta va a sobrepasar las dimensiones que nos pide las norma MTOP para realizar los módulos de rigidez.
- Una vez realizado el procedimiento para la obtención de la fibra de celulosa de desechos sanitarios no tóxicos, se debe pasar por el tamiz N°4, con el mismo que empieza el tamizado de los finos, esto se debe realizar para tener mejores resultados de celulosa.
- El proceso de mezclado debe para la preparación de nuestra briqueta tiene que ser 1) Agregado pétreo 2) Agua de premezcla 3) Celulosa 4) Emulsión asfáltica, se lo realiza de dicha manera para que nuestros agregados absorban el agua de premezcla y no la celulosa, así nos aseguramos de que la briqueta funcione de la manera correcta al momento del secado y pueda realizarse los ensayos correspondientes.

6. Bibliografía

- Albornoz, Y. (Marzo de 2014). *Laboratorio de Suelos Y Pavimento*. Merida, Merida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Asphalt Institute. (1997). *Asphalt cold mix*. Lexington: Asphalt Institute.
- Aulestia, S., & Chávez, S. (2017). *Comparación de propiedades y características mecánicas entre una mezcla asfáltica en caliente normal y una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros (tapas plásticas de botellas) por vía seca*. Obtenido de Comparación de propiedades y características mecánicas entre una mezcla asfáltica en caliente normal y una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros (tapas plásticas de botellas) por vía seca: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14556>
- Búa, M. T. (30 de abril de 2014). *Materiales Pétreos*. Obtenido de https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contenido/61_materiales_ptreos.html
- Cajas, V. X., & Iglesias, A. G. (2 de Enero de 2010). *Utilizacion de escoria siderurgicas para el mejoramiento de mezclas asfalticas en frio*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3594/T-PUCE-3604.pdf?sequence=1>
- Carlos Preciado, C. S. (2013). *UTILIZACIÓN DE FIBRAS DESECHAS DE PROCESOS INDUSTRIALES COMO*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21465/PreciadoBolivarCarlosAlberto2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clarín. (2018). La iniciativa apunta a terminar con la incineración del papel. En Clarín.
- Data Commons. (19 de 07 de 2021). *País de América del Sur*. Obtenido de <https://datacommons.org/place/country/ECU>
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gómez López, J. A., Romero, S. A., & Alarcón Orta, H. A. (2004). *ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt246.pdf>
- I.N.V.E. (2007). ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y. I.N.V.E-213-07.
- INEC. (2019). *Tabulados finales GIRS 2019*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2019/Residuos_solidos_2019/Tabulados%20Finales%20GIRS%202019.xlsx: INEC.
- INEN. (2013). *EMULSIONES ASFÁLTICAS. DETERMINACIÓN DEL RESIDUO POR EVAPORACIÓN*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.

- INEN. (2013). *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1981-1.pdf>
- León, P. J., & Herrera, V. R. (marzo de 2019). *Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en*. Obtenido de Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18434/1/T-UCE-0012-FIG-002%20-%20P.pdf>
- MTOP. (12 de 2015). Plan Estratégico Nacional de Ciclovías. Quito, Pichincha, Ecuador.
- NTE-INEN 863. (29 de junio de 2011). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/863.pdf>
- Ochoa, R. (6 de junio de 2018). Obtenido de Validación del polígono de vacíos en el diseño de mezclas bituminosas con alquitrán de hulla como ligante: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000200137#:~:text=Marshall%20acelerado%20por%20Ramcodes%20es,con%20todas%20las%20especificaciones%20de
- Paul , G., Horacio , D., & Carlos Daniel Sandoval Sandoval, S. (2005). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt271.pdf>
- Reyes, F. (2013). Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 75-84.
- Rodriguez, R., Castaño, V. M., & Martinez , M. (3 de Marzo de 2010). *Emulsiones Asfálticas*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/documentotecnico/dt23.pdf>
- Sánchez, F. (6 de febrero de 2021). *Geotech tips*. Obtenido de Breve historia del polígono de vacíos.: <https://www.geotechtips.com/post/breve-historia-del-pol%C3%ADgono-de-vac%C3%ADos>
- Vera. (12 de Agosto de 2016). Manual de diseno para infraestructura de ciclovias. San Luis, Perú.
- WISE. (2016). *WISE MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Obtenido de https://blog.wise.com.mx/hubfs/Tipos%20de%20mezclas%20asf%C3%A1lticas/tipos-mezclas-asfalticas_ok.pdf?hsCtaTracking=7a4e309f-0926-46a4-a2ff-2fad1c631802%7C3d9c541f-1fb3-4935-a396-f08cae90dd3a
- WISE. (2021). *CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y CALIENTE*. Obtenido de CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y CALIENTE: <https://blog.wise.com.mx/caracteristicas-de-las-mezclas-asfalticas-en-frio->

y-caliente

Zúñiga, R. (junio de 2015). *LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD*. Obtenido de Mezcla Asfáltica en caliente.:

<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asf%C3%A1lticas.pdf>

7. Anexos

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------------|------------|
| TAMIZ | AGREGADO GRUESO | | | AGREGADO MEDIO | | | AGREGADO FINO | | |
| | PESO RET. ACUMUL. | % RET. ACUMUL. | % QUE PASA | PESO RET. ACUMUL. | % RET. ACUMUL. | % QUE PASA | PESO RET. ACUMUL. | % RET. ACUMUL. | % QUE PASA |
| 1" | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 |
| 3/8" | 0 | 0 | 100 | 0.098 | 15.88331 | 84.11669 | 0.597 | 98.67769 | 1.322314 |
| N°4 | 0.023 | 3.262411 | 96.73759 | 0.5 | 81.03728 | 18.96272 | 0 | 0 | 100 |
| N°8 | 0.22 | 31.20567 | 68.79433 | 0.008 | 1.296596 | 98.7034 | 0.001 | 0.165289 | 99.83471 |
| N°50 | 0.296 | 41.98582 | 58.01418 | 0.003 | 0.486224 | 99.51378 | 0 | 0 | 100 |
| N°200 | 0.102 | 14.46809 | 85.53191 | 0.005 | 0.810373 | 99.18963 | 0.003 | 0.495868 | 99.50413 |
| Pasa 200 | 0.064 | 9.078014 | 90.92199 | 0.003 | 0.486224 | 99.51378 | 0.004 | 0.661157 | 99.33884 |
| TOTAL | 0.705 | 100 | 0.0 | 0.617 | 100 | 0 | 0.605 | 100 | 0 |

Anexo 1 Granulometría de los agregados minerales

Ensayos de la Emulsión Asfáltica

| | | | |
|-----------------------|--|--|--|
| Orden de Producción: | | | |
| Fecha de Elaboración: | | | |

| PENETRACIÓN EN RESIDUO | | | |
|------------------------|---------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Medición (dmm) | 43 | 43 | 43 |
| | #DIV/0! | | |

| RESIDUO POR EVAPORACIÓN | | | |
|-------------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| Peso Envase Vacío (B) | | | |
| Peso Muestra | | | |
| Peso Residuo (A) | | | |
| % Residuo | | | |

| ESTABILIDAD 24 H | | |
|-------------------|---|---|
| | 1 | 2 |
| Peso Envase Vacío | | |
| Peso Muestra | | |
| Peso Residuo | | |
| % Residuo | | |

| ASENTAMIENTO 5 D | | |
|-----------------------------|---|------|
| | 1 | 2 |
| Peso Envase Vacío+Agit+Foil | | |
| Peso Muestra | | |
| Peso Residuo | | |
| % Residuo | 0 | 0 |
| | | 0,00 |

| | |
|------------------------------|--|
| VISCOSIDAD SYBOLT FUROL 25°C | |
| 15.19 | |

| | |
|--------------------|--|
| CARGA DE PARTÍCULA | |
| 6.7% | |

| TAMIZADO | | |
|----------|-------------------------------------|---------|
| A | Peso tamiz#20 + bandeja | 842.66 |
| B | Peso tamiz#20 + bandeja + residuo | 842.10 |
| C | Peso recipiente de la muestra lleno | 1261.27 |
| D | Peso recipiente de la muestra vacío | 315.29 |
| % Tamiz | (B-A)/(C-D) | |

12:30

Ductilidad
 150 cm +
 150 cm +
 ③ 136 cm

Anexo 2 Tabla Resumen de ensayos en emulsión asfáltica

Obtención del Gmm mediante el ensayo de RICE



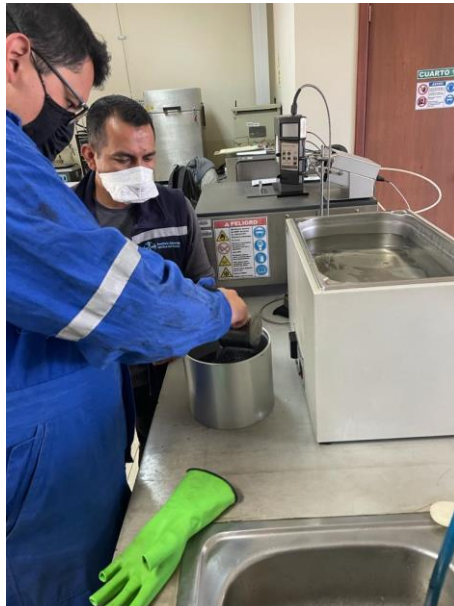
Anexo 3 Mezclado de material



Anexo 4 Tendido de material



Anexo 5 Colocación en el molde de ensayo RICE



Anexo 6 Saturación de la muestra



Anexo 7 Realización del ensayo



Anexo 8 Ambientación de muestra

Ensayo módulo de rigidez mezcla tradicional y modificada

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 1 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 1 TRADICIONAL | | | |

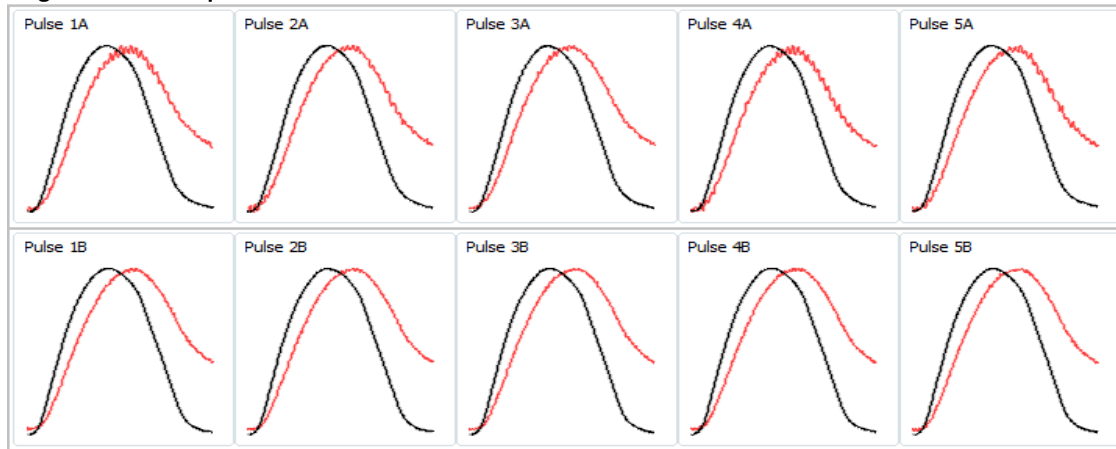
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|------|--|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 99 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 72 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueleta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 129 | 5.724 | 45.5 | 952 | 945 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,307 | 0,315 | 0,313 | 0,315 | 0,319 | 0,3138 | 0,701 | 0,701 | 0,702 | 0,702 | 0,704 | 0,705 | 0,509 |
| Horizontal Stress (kN) | 27,4 | 28,2 | 28,0 | 28,2 | 28,5 | 28,1 | 62,7 | 62,7 | 63,1 | 62,9 | 63 | 63,0 | 45,5 |
| Load-Area Factor | 0,69 | 0,66 | 0,68 | 0,68 | 0,65 | 0,67 | 0,53 | 0,54 | 0,54 | 0,57 | 0,53 | 0,54 | 0,606 |
| Horizontal Deformation (µm) | 4,414 | 4,437 | 4,347 | 4,324 | 4,343 | 4,373 | 7,097 | 7,124 | 7,053 | 7,057 | 7,041 | 7,074 | 5,724 |
| Load Rise Time (ms) | 183 | 182 | 185 | 184 | 183 | 183,4 | 74 | 75 | 74 | 70 | 75 | 74 | 129 |
| Measured Stiffness (MPa) | 834 | 842 | 855 | 846 | 862 | 848 | 1032 | 1069 | 1072 | 1056 | 1049 | 1056 | 952 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 817 | 830 | 839 | 862 | 852 | 840 | 1031 | 1060 | 1061 | 1052 | 1044 | 1049,6 | 945 |

Anexo 9 Módulo de rigidez, Briqueleta 1, Mezcla tradicional

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 2 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 2 TRADICIONAL | | | |

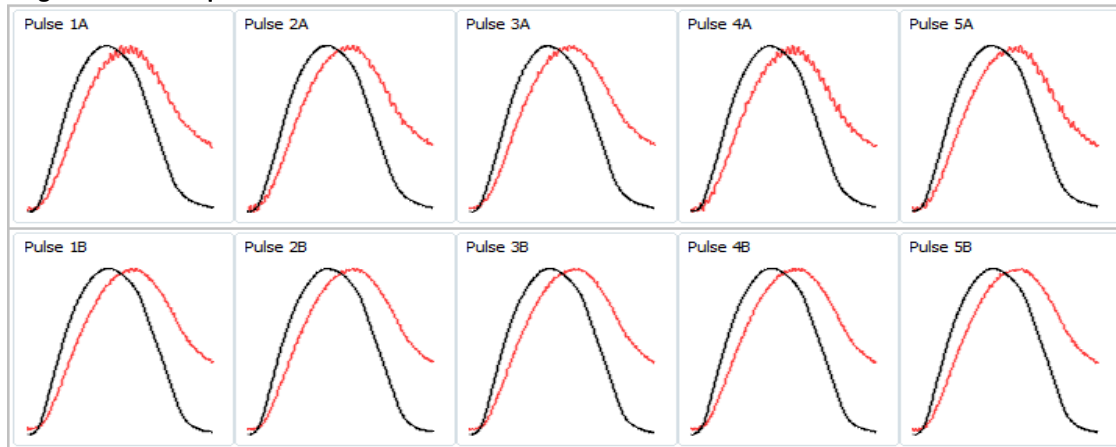
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 100 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 71 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueleta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 129 | 5.725 | 45.6 | 947 | 941 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,308 | 0,315 | 0,313 | 0,315 | 0,319 | 0,314 | 0,708 | 0,73 | 0,703 | 0,702 | 0,704 | 0,705 | 0,510 |
| Horizontal Stress (kN) | 27,45 | 28,2 | 28,0 | 28,2 | 28,5 | 28,1 | 62,12 | 63,2 | 63,5 | 63,8 | 63,25 | 63,2 | 45,6 |
| Load-Area Factor | 0,7 | 0,66 | 0,68 | 0,68 | 0,65 | 0,67 | 0,53 | 0,54 | 0,55 | 0,51 | 0,56 | 55,00 | 27,837 |
| Horizontal Deformation (µm) | 4,412 | 4,437 | 4,347 | 4,324 | 4,343 | 4,3726 | 7,097 | 7,124 | 7,053 | 7,523 | 7,043 | 7,078 | 5,725 |
| Load Rise Time (ms) | 183 | 182,3 | 185,1 | 184,23 | 182 | 183,326 | 74,1 | 75,2 | 74,95 | 70,2 | 74,26 | 74 | 129 |
| Measured Stiffness (MPa) | 820 | 834 | 844 | 854 | 881 | 846,6 | 1032 | 1050 | 1065 | 1049 | 1045 | 1048,2 | 947 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 834 | 843 | 843 | 846 | 854 | 844 | 1006 | 1032 | 1051 | 1044 | 1059 | 1038 | 941 |

Anexo 10 Módulo de rigidez, Briqueleta 2, Mezcla tradicional

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | |
|------------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 3 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 3 TRADICIONAL | | | |

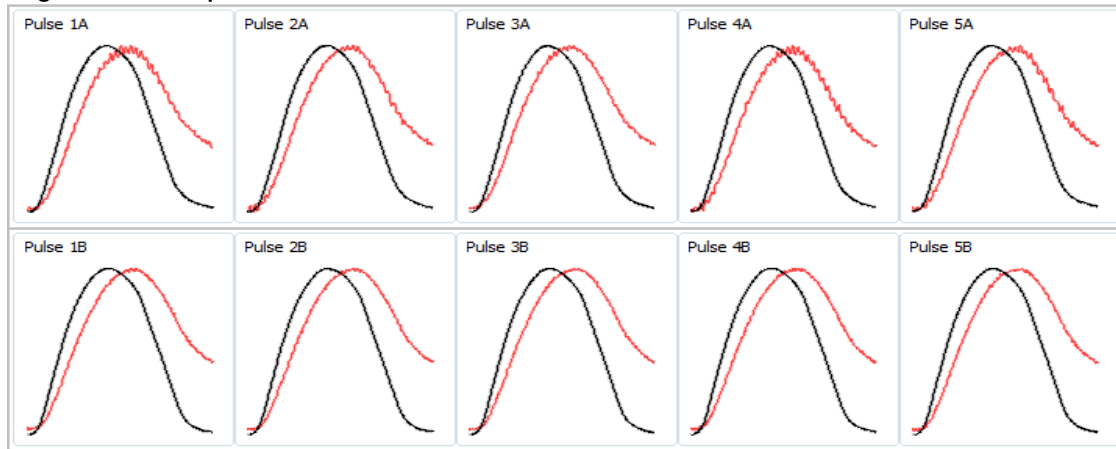
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|-------------------|-----|------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 99 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 70 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueleta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 139 | 2.150 | 29.2 | 1167 | 1147 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,304 | 0,315 | 0,313 | 0,315 | 0,319 | 0,3132 | 0,701 | 0,701 | 0,702 | 0,702 | 0,704 | 0,705 | 0,509 |
| Horizontal Stress (kN) | 27,42 | 28,2 | 28,0 | 28,2 | 28,5 | 28,1 | 62,7 | 62 | 62 | 62,9 | 63 | 63,2 | 45,6 |
| Load-Area Factor | 0,7 | 0,66 | 0,68 | 0,68 | 0,65 | 0,67 | 0,58 | 0,48 | 0,56 | 0,52 | 0,42 | 55,00 | 27,837 |
| Horizontal Deformation (µm) | 4,414 | 4,437 | 4,3 | 4,3 | 4,343 | 4,3588 | 6,5 | 6,2 | 6,8 | 6,98 | 6,5 | 6,300 | 5,329 |
| Load Rise Time (ms) | 183 | 182 | 185 | 184 | 183 | 183,4 | 74 | 75 | 74 | 70 | 75 | 74 | 129 |
| Measured Stiffness (MPa) | 823 | 837 | 846 | 849 | 861 | 843 | 1015 | 1045 | 1059 | 1052 | 1053 | 1045 | 944 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 836 | 842 | 852 | 856 | 887 | 854,6 | 1065 | 1060 | 1072 | 1052 | 869 | 1023,6 | 939 |

Anexo 11 Módulo de rigidez, Briqueleta 3, Mezcla tradicional

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 4 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 1 - 2% Celulosa | | | |

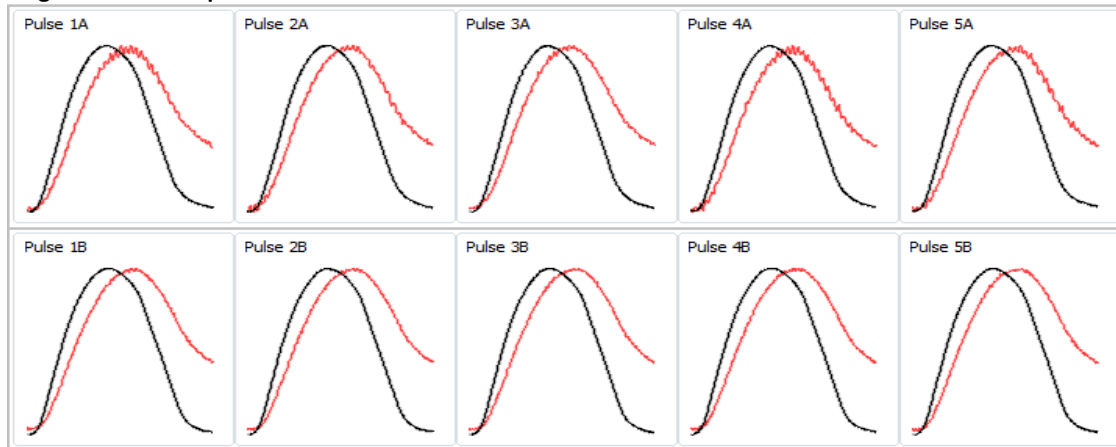
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 99 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 72 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueeta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.450 | 29.2 | 1169 | 1146 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,108 | 0,107 | 0,112 | 0,106 | 0,107 | 0,108 | 0,544 | 0,544 | 0,542 | 0,546 | 0,547 | 0,5446 | 0,326 |
| Horizontal Stress (kN) | 9,6 | 9,6 | 10,0 | 9,5 | 9,6 | 9,7 | 48,6 | 48,5 | 48,5 | 48,8 | 49 | 48,7 | 29,2 |
| Load-Area Factor | 0,5 | 0,44 | 0,39 | 0,44 | 0,4 | 0,43 | 0,67 | 0,69 | 0,66 | 0,68 | 0,69 | 0,68 | 0,556 |
| Horizontal Deformation (µm) | 0,930 | 0,828 | 0,812 | 0,702 | 0,703 | 0,795 | 4,166 | 4,162 | 4,087 | 4,064 | 4,044 | 4,105 | 2,450 |
| Load Rise Time (ms) | 139 | 147 | 168 | 140 | 141 | 147 | 132 | 129 | 133 | 129 | 126 | 130 | 138 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1006 | 1119 | 1195 | 1308 | 1319 | 1189 | 1131 | 1128 | 1149 | 1164 | 1172 | 1149 | 1169 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 968 | 1048 | 1093 | 1221 | 1209 | 1107,8 | 1162 | 1168 | 1177 | 1201 | 1214 | 1184,4 | 1146 |

Anexo 12 Módulo de rigidez, Briqueeta 1, Mezcla modificada con 2% de celulosa

ÁR+A1:153EA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO

| | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|---------|------------|-----------------|------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: | 4148 P | HOJA: | 5 de 11 |
| CLIENTE: | CANDO - MANCERO | | SOLICITA: | CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: | TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: | ----- | |
| UBICACIÓN: | . | | CONSTRUYE: | ----- | |
| PROVINCIA: | PICHINCHA | CANTÓN: | QUITO | EMISIÓN: | 2202-01-05 |
| ID MUESTRA: | BRIQUETA 2 - 2% Celulosa | | | | |

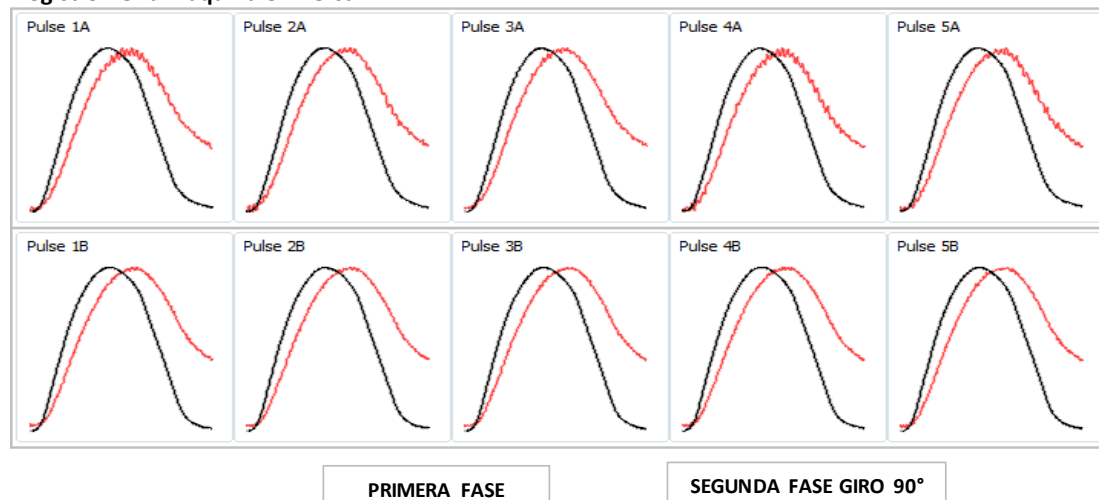
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|-------------------|-----|------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 99 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 68 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.459 | 29.1 | 1170 | 1150 |

Registro De La Máquina Universal



Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,107 | 0,107 | 0,115 | 0,107 | 0,107 | 0,109 | 0,543 | 0,544 | 0,543 | 0,546 | 0,547 | 0,5446 | 0,327 |
| Horizontal Stress (kN) | 9,8 | 9,7 | 10,1 | 9,4 | 9,5 | 9,7 | 48,5 | 48,5 | 48,5 | 48,6 | 48,8 | 48,6 | 29,1 |
| Load-Area Factor | 0,52 | 0,45 | 0,38 | 0,44 | 0,42 | 0,44 | 0,68 | 0,69 | 0,68 | 0,67 | 0,7 | 0,68 | 0,563 |
| Horizontal Deformation (µm) | 0,924 | 0,834 | 0,814 | 0,708 | 0,742 | 0,8044 | 4,152 | 4,158 | 4,091 | 4,112 | 4,051 | 4,113 | 2,459 |
| Load Rise Time (ms) | 138 | 139 | 159 | 145 | 143 | 144,8 | 130 | 129 | 132 | 131 | 129 | 130 | 138 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1005 | 1109 | 1180 | 1318 | 1324 | 1187 | 1129 | 1132 | 1153 | 1174 | 1179 | 1153 | 1170 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 972 | 1049 | 1097 | 1225 | 1239 | 1116,4 | 1161 | 1165 | 1177 | 1202 | 1213 | 1183,6 | 1150 |

Anexo 13 Módulo de rigidez, Briqueta 2, Mezcla modificada con 2% de celulosa

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|---------|------------|-----------------|------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: | 4148 P | HOJA: | 6 de 11 |
| CLIENTE: | CANDO - MANCERO | | SOLICITA: | CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: | TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: | ----- | |
| UBICACIÓN: | . | | CONSTRUYE: | ----- | |
| PROVINCIA: | PICHINCHA | CANTÓN: | QUITO | EMISIÓN: | 2202-01-05 |
| ID MUESTRA: | BRIQUETA 3 - 2% Celulosa | | | | |

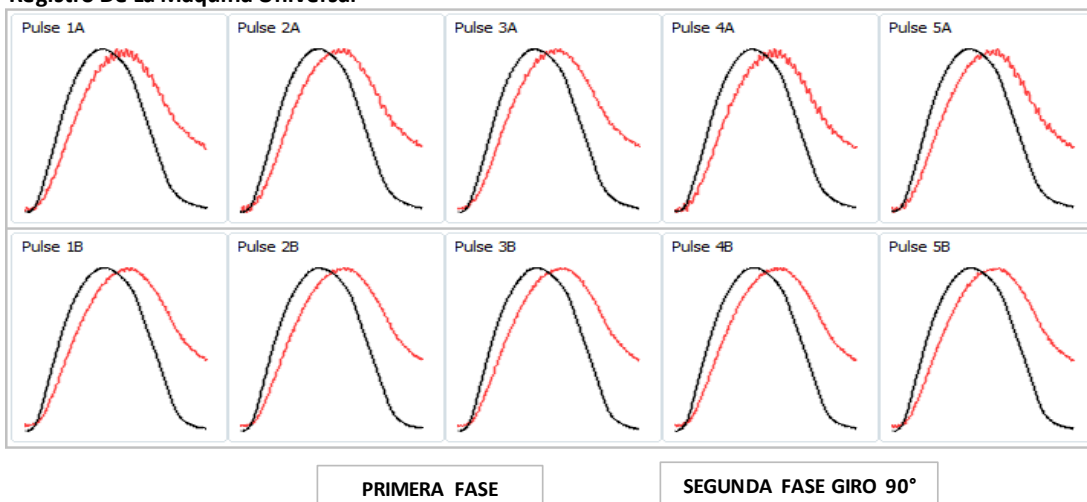
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|-------------------|-----|------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 99 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 72 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 139 | 2.454 | 29.2 | 1167 | 1147 |

Registro De La Máquina Universal



Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,109 | 0,109 | 0,113 | 0,107 | 0,107 | 0,109 | 0,545 | 0,545 | 0,549 | 0,547 | 0,546 | 0,5464 | 0,328 |
| Horizontal Stress (kN) | 9,7 | 9,6 | 10,3 | 9,4 | 9,7 | 9,7 | 48,1 | 48,4 | 48,6 | 48,6 | 49,3 | 48,6 | 29,2 |
| Load-Area Factor | 0,51 | 0,47 | 0,32 | 0,45 | 0,48 | 0,45 | 0,66 | 0,68 | 0,65 | 0,68 | 0,72 | 0,68 | 0,562 |
| Horizontal Deformation (µm) | 0,928 | 0,812 | 0,809 | 0,704 | 0,712 | 0,793 | 4,156 | 1,163 | 4,089 | 4,081 | 4,041 | 4,114 | 2,454 |
| Load Rise Time (ms) | 134 | 145 | 162 | 154 | 152 | 149,4 | 135 | 130 | 131 | 126 | 124 | 129 | 139 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1007 | 1101 | 1187 | 1310 | 1321 | 1185 | 1132 | 1127 | 1152 | 1161 | 1170 | 1148 | 1167 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 967 | 1047 | 1088 | 1213 | 1225 | 1108 | 1163 | 1164 | 1179 | 1206 | 1219 | 1186,2 | 1147 |

Anexo 14 Módulo de rigidez, Briqueta 3, Mezcla modificada con 2% de celulosa

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 7 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 1 - 3% Celulosa | | | |

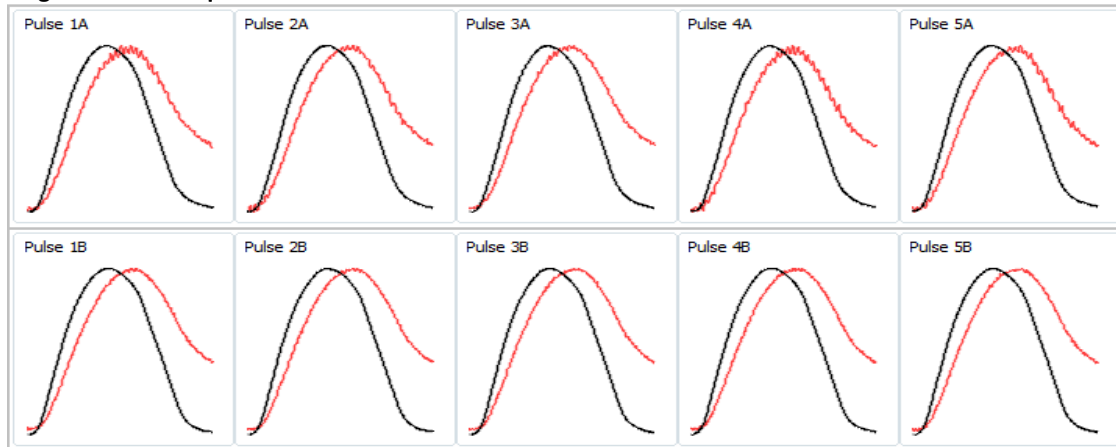
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|------|--|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 101 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 73 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.450 | 29.2 | 1167 | 1151 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0,105 | 0,106 | 0,112 | 0,165 | 0,102 | 0,118 | 0,589 | 0,522 | 0,512 | 0,423 | 0,547 | 0,5186 | 0,318 |
| Horizontal Stress (kN) | 9,6 | 9,6 | 10,0 | 9,5 | 9,6 | 9,7 | 48,6 | 48,5 | 48,5 | 48,8 | 49 | 48,7 | 29,2 |
| Load-Area Factor | 0,5 | 0,44 | 0,39 | 0,44 | 0,4 | 0,43 | 0,67 | 0,69 | 0,66 | 0,68 | 0,69 | 0,68 | 0,556 |
| Horizontal Deformation (µm) | 0,930 | 0,828 | 0,812 | 0,702 | 0,703 | 0,795 | 4,166 | 4,162 | 4,087 | 4,064 | 4,044 | 4,105 | 2,450 |
| Load Rise Time (ms) | 139 | 147 | 168 | 140 | 141 | 147 | 132 | 129 | 132 | 130 | 125 | 130 | 138 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1000 | 1120 | 1190 | 1300 | 1314 | 1185 | 1130 | 1131 | 1150 | 1165 | 1170 | 1149 | 1167 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 970 | 1050 | 1110 | 1228 | 1210 | 1113,6 | 1169 | 1170 | 1179 | 1208 | 1214 | 1188 | 1151 |

Anexo 15 Módulo de rigidez, Briqueta 1, Mezcla modificada con 3% de celulosa

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO

| | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 7 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 2 - 3% Celulosa | | | |

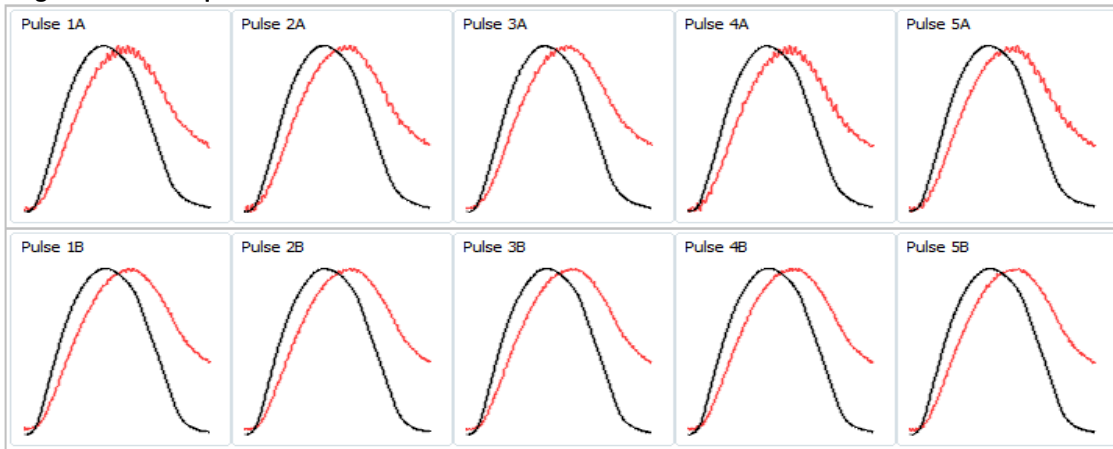
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 99 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 72 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.450 | 29.2 | 1167 | 1151 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0.106 | 0.106 | 0.112 | 0.165 | 0.102 | 0.1182 | 0.589 | 0.522 | 0.512 | 0.423 | 0.547 | 0.5186 | 0.318 |
| Horizontal Stress (kN) | 9.8 | 9.6 | 10.0 | 9.5 | 9.6 | 9.7 | 48.6 | 48 | 47 | 47 | 48 | 47.7 | 28.7 |
| Load-Area Factor | 0.542 | 0.44 | 0.39 | 0.44 | 0.4 | 0.44 | 0.68 | 0.65 | 0.69 | 0.58 | 0.69 | 0.66 | 0.550 |
| Horizontal Deformation (µm) | 0.956 | 0.828 | 0.812 | 0.702 | 0.702 | 0.8 | 4.166 | 4.162 | 4.2 | 4.064 | 4.044 | 4.127 | 2.464 |
| Load Rise Time (ms) | 140 | 147 | 168 | 140 | 141 | 147.2 | 132 | 129 | 132 | 130 | 125 | 130 | 138 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1022 | 1128 | 1195 | 1305 | 1310 | 1192 | 1128 | 1131 | 1150 | 1165 | 1170 | 1149 | 1170 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 978 | 1048 | 1115 | 1250 | 1219 | 1122 | 1180 | 1175 | 1180 | 1215 | 1210 | 1192 | 1157 |

Anexo 16 Módulo de rigidez, Briqueta 2, Mezcla modificada con 3% de celulosa

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO

| | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|---------|------------|-----------------|------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: | 4148 P | HOJA: | 7 de 11 |
| CLIENTE: | CANDO - MANCERO | | SOLICITA: | CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: | TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: | ----- | |
| UBICACIÓN: | . | | CONSTRUYE: | ----- | |
| PROVINCIA: | PICHINCHA | CANTÓN: | QUITO | EMISIÓN: | 2202-01-05 |
| ID MUESTRA: | BRIQUETA 3 - 3% Celulosa | | | | |

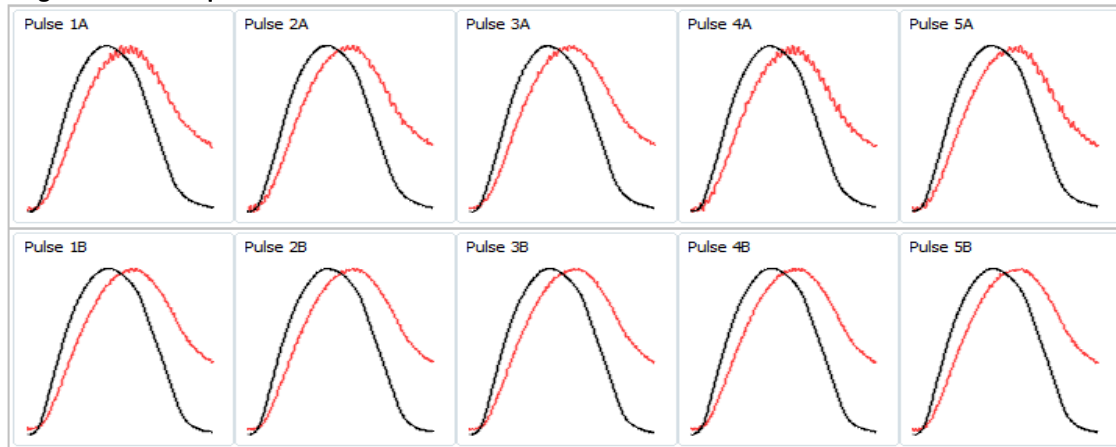
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|-------------------|-----|------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 100 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 71 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.450 | 29.2 | 1167 | 1151 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0.106 | 0.106 | 0.112 | 0.165 | 0.102 | 0.118 | 0.589 | 0.52 | 0.51 | 0.42 | 0.55 | 0.5186 | 0.318 |
| Horizontal Stress (kN) | 9.8 | 10 | 9.8 | 9.2 | 9.6 | 9.7 | 48.6 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48.1 | 28.9 |
| Load-Area Factor | 0.54 | 0.44 | 0.4 | 0.45 | 0.4 | 0.45 | 0.7 | 0.65 | 0.69 | 0.58 | 0.69 | 0.66 | 0.554 |
| Horizontal Deformation (µm) | 0.958 | 0.83 | 0.818 | 0.704 | 0.703 | 0.803 | 4.166 | 4.18 | 4.1 | 4.06 | 4.05 | 4.111 | 2.457 |
| Load Rise Time (ms) | 145 | 140 | 169 | 141 | 141 | 147.2 | 130 | 128 | 133 | 129 | 128 | 130 | 138 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1028 | 1125 | 1198 | 1306 | 1318 | 1195 | 1120 | 1132 | 1147 | 1157 | 1178 | 1147 | 1171 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 980 | 1049 | 1116 | 1242 | 1220 | 1121 | 1175 | 1178 | 1185 | 1217 | 1217 | 1194.4 | 1158 |

Anexo 17 Módulo de rigidez, Briqueta 3, Mezcla modificada con 3% de celulosa

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO

| | | | |
|--|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: 4148 P | HOJA: 7 de 11 |
| CLIENTE: CANDO - MANCERO | | SOLICITA: CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: ----- | |
| UBICACIÓN: . | | CONSTRUYE: ----- | |
| PROVINCIA: PICHINCHA | CANTÓN: QUITO | EMISIÓN: 2202-01-05 | |
| ID MUESTRA: BRIQUETA 1- Tradicional 9.5% Emulsion | | | |

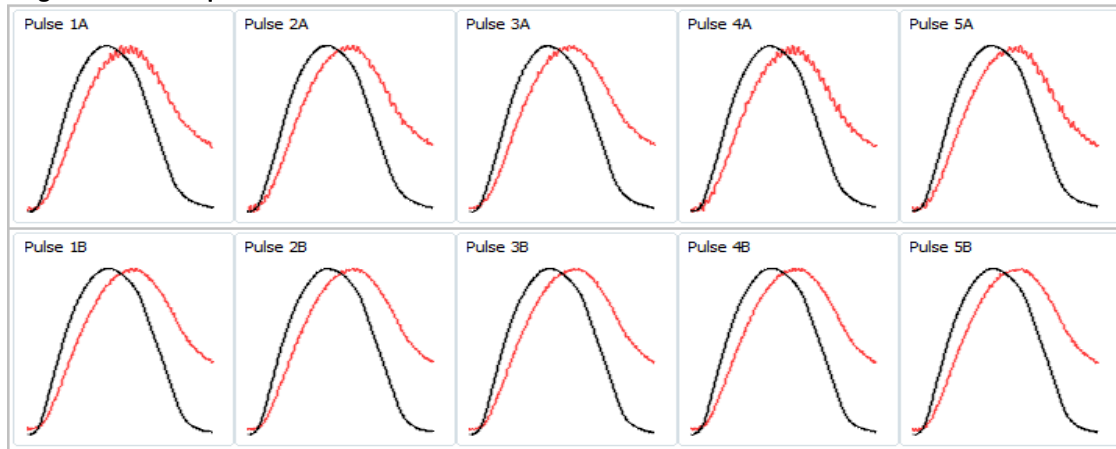
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m3): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 101 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 72 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.450 | 29.2 | 1167 | 1151 |

Registro De La Máquina Universal



PRIMERA FASE

SEGUNDA FASE GIRO 90°

Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0.568 | 0.558 | 0.559 | 0.559 | 0.558 | 0.5604 | 0.555 | 0.54 | 0.54 | 0.53 | 0.53 | 0.5366 | 0.549 |
| Horizontal Stress (kN) | 54.4 | 53.4 | 53.6 | 553.6 | 53.4 | 153.7 | 53.1 | 51.3 | 51.2 | 50.7 | 50.6 | 51.4 | 102.5 |
| Load-Area Factor | 0.82 | 0.86 | 0.84 | 0.85 | 0.85 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.85 | 0.87 | 0.84 | 0.85 | 0.846 |
| Horizontal Deformation (µm) | 5.040 | 4.518 | 4.467 | 4.436 | 4.413 | 4.5748 | 5.287 | 4.82 | 4.7 | 4.68 | 4.66 | 4.829 | 4.702 |
| Load Rise Time (ms) | 649 | 614 | 625 | 633 | 630 | 630.2 | 619 | 606 | 605 | 6.17 | 622 | 492 | 561 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1075 | 1178 | 1194 | 1202 | 1206 | 1171 | 1001 | 1061 | 1087 | 1078 | 1080 | 1061 | 1116 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 1167 | 1301 | 1310 | 1324 | 1328 | 1286 | 1092 | 1160 | 1193 | 1187 | 1181 | 1162.6 | 1224 |

Anexo 18 Módulo de rigidez, Briqueta 1, Mezcla tradicional con 9.5% de emulsión asfáltica

ÁREA DE PAVIMENTOS

MÓDULO DE RIGIDEZ DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

| | | | | | |
|-----------------------|--|---------|------------|-----------------|------------|
| NORMA: BS EN 12697-26 | | ORDEN: | 4148 P | HOJA: | 7 de 11 |
| CLIENTE: | CANDO - MANCERO | | SOLICITA: | CANDO - MANCERO | |
| PROYECTO: | TESIS CANDO - MANCERO | | FISCALIZA: | ----- | |
| UBICACIÓN: | . | | CONSTRUYE: | ----- | |
| PROVINCIA: | PICHINCHA | CANTÓN: | QUITO | EMISIÓN: | 2202-01-05 |
| ID MUESTRA: | BRIQUETA 1- 3% Celulosa- 9.5% Emulsion | | | | |

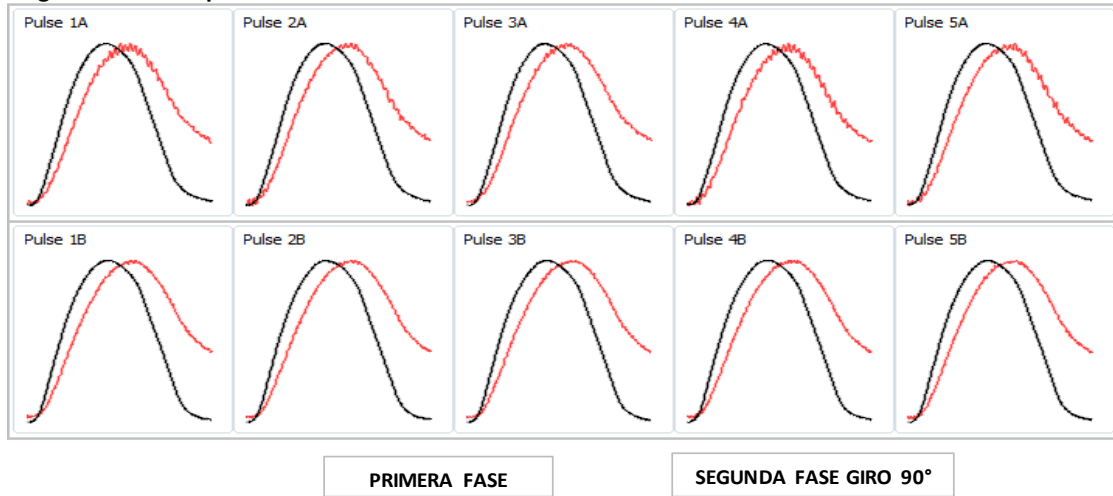
Información previa al ensayo:

| | | | | |
|-------------------------------|-----|------------------------------|------|---|
| Temperatura (°C): | 20 | Pulsos de acondicionamiento: | 10 | Ojo estos datos nunca cambia es lo mismo para todos los ensayos |
| D. bulk (Kg/m ³): | N/D | Coefficiente de Poisson: | 0.35 | |
| Diámetro (mm): | 100 | Tiempo de carga (ms): | 124 | |
| Espesor (mm): | 71 | Deformación (µm): | 5 | |

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

| Muestra N.- | Tiempo de carga (ms) | Deformación Horizontal (µm) | Tensión Horizontal (kPa) | Módulo Rigidez Medido (MPa) | Módulo Rigidez Ajustado (MPa) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| B1 | 138 | 2.450 | 29.2 | 1167 | 1151 |

Registro De La Máquina Universal



Test Results

| | 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | Mean A | 1B | 2B | 3B | 4B | 5B | Mean B | Mean A&B |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|------|--------|--------------|
| Load Peak to Peak (kN) | 0.582 | 0.576 | 0.58 | 0.583 | 0.581 | 0.580 | 0.566 | 0.57 | 0.56 | 0.57 | 0.57 | 0.5656 | 0.573 |
| Horizontal Stress (kN) | 57 | 56.4 | 56.8 | 57 | 569 | 159.2 | 55.5 | 55.5 | 55.3 | 55.5 | 55.4 | 55.4 | 107.3 |
| Load-Area Factor | 0.79 | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.79 | 0.78 | 0.77 | 0.77 | 0.81 | 0.8 | 0.8 | 0.79 | 0.787 |
| Horizontal Deformation (µm) | 4.672 | 4.312 | 4.274 | 4.264 | 4.193 | 4.343 | 4.703 | 4.37 | 4.3 | 4.23 | 4.16 | 4.35 | 4.348 |
| Load Rise Time (ms) | 624 | 614 | 623 | 623 | 605 | 617.8 | 645 | 646 | 615 | 617 | 618 | 628 | 623 |
| Measured Stiffness (MPa) | 1207 | 1294 | 1315 | 1325 | 1342 | 1297 | 1166 | 1257 | 1271 | 1295 | 1315 | 1261 | 1279 |
| Adjusted Stiffness Modulus (MPa) | 1300 | 1391 | 1414 | 1425 | 1449 | 1395.8 | 1246 | 1345 | 1381 | 1403 | 1425 | 1360 | 1378 |

Anexo 19 Módulo de rigidez, Briqueta 1, Mezcla modificada con 9.5% de emulsión asfáltica y 3% de celulosa