



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANÁLISIS DE EFICIENCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMALLA
TIPO: FIBRA DE VIDRIO, COMO MATERIAL DE REFUERZO PARA OBRAS
DE REPARACIÓN O REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

AUTOR:

SEÑOR. MORENO ORNA LUIS ANDRES

DIRECTOR:

INGENIERIA. ARELLANO CARRASCO VERONICA LIZETH

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Transportes y Vías

Quito, junio de 2023

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia, en especial a mis padres, quienes han creído en mí en todo momento con paciencia y entendimiento. También quiero reconocer a mis hermanas, quienes siempre han sido mi motivación y me han impulsado a alcanzar mis objetivos. Dedico también a mi hermano, tíos, primos, abuelitos, amigos, y a todos aquellos que han sido parte fundamental en mi vida.

Cada uno de ellos ha participado de alguna manera en esta investigación, brindándome su atención y apoyo cuando les explicaba sobre qué trataba y la ilusión que me generaba. Han sido testigos de mi entusiasmo al entregar algo novedoso, interesante y, en cierto sentido, complejo de comprender.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a las empresas que patrocinaron esta investigación, ya que sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible: Geosolutions Synthetic S.A, A&P Constructora y Constructores Naranjo López.

También deseo reconocer al laboratorio de la PUCE (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), quienes respaldaron este proyecto y me brindaron orientación en todo momento. Un agradecimiento especial a Jhovanny Muñoz, cuyas recomendaciones y amplia experiencia fue fundamental para abordar la investigación de manera acertada.

No puedo dejar de mencionar a mis directores, el ingeniero Gustavo Yáñez y la ingeniera Verónica Arellano, quienes me guiaron y dirigieron para alcanzar nuestras metas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	II
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Alcance de la investigación	1
1.2 Hipótesis	2
1.3 Justificación	2
1.4 Planteamiento del problema.....	2
1.5 Objetivos.....	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
1.6 Metodología.....	4
CAPÍTULO II CONCEPTOS GENERALES	5
2.1. Pavimento	5
2.2. Clasificación de pavimentos	5
2.2.1. Flexibles	5
2.2.2. Rígidos.....	7
2.2.3. Semi-Rígidos	7
2.2.4. Articulado.....	7
2.3. Asfalto.....	8
2.4. Mezclas asfálticas	8
2.5. Daños en pavimentos flexibles	9
2.5.1. Fisuras o piel de cocodrilo.....	9
2.5.2. Fisuras de bloque	9

IV

2.6.	Rehabilitación de pavimentos flexibles	10
2.6.1.	Mantenimiento tradicional en pavimentos flexibles.....	10
2.6.2.	Sellado de grietas.....	11
2.6.3.	Tratamiento superficial a base de mortero asfáltico.....	12
2.7.	Geosintéticos.....	12
2.7.1.	Propiedades de los geosintéticos	13
2.7.2.	Funciones de los geosintéticos en la industria civil.....	14
2.7.3.	Composición de los geosintéticos	15
2.8.	Geomalla de fibra de vidrio	15
2.8.1.	Propiedades de las geomallas de fibra de vidrio.....	15
2.8.2.	Ventajas de aplicar geomallas de fibra de vidrio.....	15
Capítulo III METODOLOGÍA		16
3.1.	Modalidad de la investigación	16
3.1.1.	Modalidad cuantitativa	16
3.2.	Alcance de la investigación	16
3.2.1.	Estudios descriptivos	16
3.3.	Tipos de investigación	17
3.3.1.	Bibliográfica documental	17
3.3.2.	Diseños experimentales	17
3.4.	Bases y directrices de la investigación.....	17
3.4.1.	Preparación de probetas.....	18
3.4.2.	Máquina universal hidráulica	18
3.4.3.	Procedimiento de ensayo	19
Capítulo IV ENSAYOS DE LABORATORIO Y CONTROL.....		21
4.1.	Generalidades.....	21
4.2.	Metodología a simular	21
4.3.	Desarrollo.....	22

4.3.1.	Calificación de mezcla asfáltica	22
4.3.2.	Calificación de geomalla fibra de vidrio	27
4.4.	Ensayos: Prueba de carga cíclica	30
4.4.1.	Preparación de probetas	30
4.4.2.	Procedimiento de ensayo	30
4.5.	Resultados	35
4.5.1.	Frecuencia.....	35
4.5.2.	Variación de carga	39
4.5.3.	Tiempo acumulado	42
Capitulo V COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		49
5.1.	Conclusiones.....	49
5.2.	Recomendaciones	51
Bibliografía.....		52
ANEXOS		56

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II CONCEPTOS GENERALES		5
Tabla 2.1:	Propiedades de la geomalla de fibra de vidrio	15
Capitulo IV ENSAYOS DE LABORATORIO Y CONTROL		21
Tabla 4.1:	Resultado estabilidad y flujo.....	23
Tabla 4.2:	Resultados de las gravedades específicas de los agregados.....	24
Tabla 4.3:	Resultados de mezcla asfáltica.....	27
Tabla 4.4:	Resultados de fuerza equivalente por unidad de longitud.....	29
Tabla 4.5:	Primera fase de ensayos para vigas: A1 - B1 - C1	32
Tabla 4.6:	Segunda fase de ensayos para vigas: A1 - B1 - C1.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II CONCEPTOS GENERALES	5
Figura 2.1: Perfil típico de una estructura de pavimento flexible	6
Figura 2.2: Estructura típica de un pavimento asfáltico (flexible).....	6
Figura 2.3: Estructura típica de un pavimento rígido.....	7
Figura 2.4: Estructura típica de un pavimento articulado	8
Figura 2.5: Bacheo	11
Figura 2.6: Aplicación de los geosintéticos en el área de ingeniería civil	14
Capítulo III METODOLOGÍA.....	16
Figura 3.1: Viga sometida a carga cíclica	18
Capítulo IV ENSAYOS DE LABORATORIO Y CONTROL.....	21
Figura 4.1: % Asfalto vs. Densidad Bulk.....	24
Figura 4.2: % Asfalto vs. Estabilidad.....	25
Figura 4.3: % Asfalto vs. Flujo	25
Figura 4.4: % Asfalto vs. Va.....	26
Figura 4.5: % Asfalto vs. VAM	26
Figura 4.6: % Asfalto vs. VAF.....	27
Figura 4.7: Resultado ensayo ASTM D 6637 muestra longitudinal 1	28
Figura 4.8: Resultado ensayo ASTM D 6637 muestra longitudinal 2	28
Figura 4.9: Resultado ensayo ASTM D 6637 muestra transversal 1	29
Figura 4.10: FRECUENCIA v/s. CICLOS DE CARGA (Viga A1).....	35
Figura 4.11: FRECUENCIA v/s. CICLOS DE CARGA (Viga B1).....	36
Figura 4.12: FRECUENCIA v/s. CICLOS DE CARGA (Viga C1).....	37
Figura 4.13: Variación de Frecuencia - Viga A1	37
Figura 4.14: Variación de Frecuencia - Viga B1	38
Figura 4.15: Variación de Frecuencia - Viga C1	39
Figura 4.16: CARGA v/s. CICLOS DE CARGA – Viga A1	40

Figura 4.17: CARGA v/s. CICLOS DE CARGA – Viga B1.....	41
Figura 4.18: CARGA v/s. CICLOS DE CARGA – Viga C1.....	42
Figura 4.19: T. ACUMULADO v/s. CICLOS v/s. PERIODO (A1)	43
Figura 4.20: CARGA v/s. CICLOS v/s. T. ACUMULADO (A1).....	44
Figura 4.21: T. ACUMULADO v/s. CICLOS v/s. PERIODO (B1).....	45
Figura 4.22: CARGA v/s. CICLOS v/s. T. ACUMULADO (B1).....	46
Figura 4.23: T. ACUMULADO v/s. CICLOS v/s. PERIODO (C1).....	47
Figura 4.24: CARGA v/s. CICLOS v/s. T. ACUMULADO (C1).....	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Molde y accesorios de acero para elaboración de las mezclas asfálticas de ensayo.	56
Ilustración 2: Tapas laterales del Molde, bisagras, tuercas de ajuste, tornillo.....	56
Ilustración 3: Tapa frontal con bisagras.....	57
Ilustración 4: Molde real para mezclas asfálticas en caliente resístete a la energía de compactación.	57
Ilustración 5: Pisón de acero para compactación de vigas (1er prototipo)	58
Ilustración 6: Pisón reforzado de acero para compactación de vigas (2do prototipo)..	58
Ilustración 7: Demoledor Walt para compactación de vigas	59
Ilustración 8: Equipo de compactación y molde.....	59
Ilustración 9: Briquetas de mezcla asfáltica antes de ensayo	60
Ilustración 10: Ensayo de flujo y estabilidad.....	60
Ilustración 11: Briquetas después de ensayo	61
Ilustración 12: Ensayo de densidad máxima.....	61
Ilustración 13: Ensayo de densidad máxima 2.....	62
Ilustración 14: Preparación de asfalto para vigas	62
Ilustración 15: Geomalla de fibra de vidrio para vigas.....	63
Ilustración 16: Capa antigua compactada de 6cm y desmoldada	63
Ilustración 17: Elaboración de fisura de 5mm en capa antigua	64
Ilustración 18: Capa antigua con riego de liga.	64
Ilustración 19: Capa antigua con riego de liga y geomalla.....	65

VIII

Ilustración 20: Vigas para ensayo izq:C1, B1 y A1.....	65
Ilustración 21: Viga A1 antes del ensayo de carga cíclica	66
Ilustración 22: Viga A1 después del ensayo de carga cíclica	66
Ilustración 23: Deformación viga A1	67
Ilustración 24: Viga B1 antes del ensayo de carga cíclica.....	67
Ilustración 25: Viga B1 después del ensayo de carga cíclica	68
Ilustración 26: Deformación viga B1.....	68
Ilustración 27: Viga C1 antes del ensayo de carga cíclica.....	69
Ilustración 28: Viga C1 después del ensayo de carga cíclica	69
Ilustración 29: Deformación viga C1.....	70
Ilustración 30: Comparativa de la falla en las vigas izq: B1 y A1	70
Ilustración 31: Comparativa 2 de la falla en las vigas izq: B1 y A1.....	71
Ilustración 32: Comparativa de la falla en las vigas izq: C1, B1 y A1	71
Ilustración 33: Comparativa 2 de la falla en las vigas izq: C1, B1 y A1	72

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Al pasar de los años la necesidad de que las vías cada vez tengan menos intervención de mantenimiento, ya sea por la falta de presupuesto para realizarlos o por mal control y manejo, se han creado varias alternativas para mitigar y/o controlar los diferentes tipos de fallas que se presentan en el pavimento, ya sean con materiales reciclados, polímeros, aditivos, entre otros.

Se propone la implementación de materiales geosintéticos, usados para prevenir la aparición de fisuras y grietas de abajo hacia arriba de forma temprana o extendiendo el tiempo en que la fisuración puede presentarse en pavimentos nuevos por los diferentes cambios de rigidez que pueda tener su base o tipo de soporte.

Mismos que presentan propiedades mecánicas sobresalientes, teniendo como resultado un incremento en el periodo de vida útil o lograr cumplir con el nivel de servicio por un tiempo más prolongado, y así tener menor costo de mantenimiento periódico, lo que se debe tener en cuenta siempre en la utilización de estos materiales de fácil manejo e instalación, sin embargo, necesitan de personal capacitado para su colocación y supervisión.

El material que se utilizará en los ensayos será una geomalla de fibra de vidrio la misma que presenta características físicas como flexibilidad, la cual le ayuda a controlar los agrietamientos por reflexión, por fatiga o por deformaciones plásticas en un pavimento asfáltico, aumentar la resistencia a la tracción y una mejora en su distribución al tener una mayor área horizontal para repartirla uniformemente.

1.1 Alcance de la investigación

La presente investigación va encaminada a brindar un método moderno y eficiente para mejorar la vida útil de una estructura de pavimento flexible implementando un material geosintético (Geomalla de Fibra de Vidrio) y que por medio de sus propiedades mecánicas se pueda abordar totalmente un área de la ingeniería civil y proveerle de nuevos conocimientos a esta área. Para el presente trabajo, no se toma en cuenta el aspecto financiero ya que este apartado varía mucho a lo largo del tiempo por la influencia de los materiales a utilizarse. Por ello se concluye que los resultados que se presenten quedarían obsoletos por esta razón se presentara un resultado global de eficiencia en función del material.

Sin embargo, cabe mencionar que los autores que tienden a presentar propuestas con materiales geosintéticos como método de refuerzo y mejoramiento para obras civiles, por lo general presentan mejoras en el ámbito económico, logrando obras seguras a costes moderados o a su vez se logra tener obras civiles de igual valor, pero con menores rubros de mantenimiento. Se puede concluir de forma rápida que la implementación de estos materiales geosintéticos ayuda a tener proyectos más baratos y/o de menor costo de mantenimiento.

1.2 Hipótesis

Se puede mejorar las características mecánicas de una mezcla asfáltica al añadir un sistema SAMI en este caso una geomalla de fibra de vidrio y poder así presentar una alternativa moderna y sustentable que ayude a minimizar la cantidad de mantenimientos periódicos.

1.3 Justificación

Esta investigación en particular busca mejorar la capacidad de carga de la estructura de pavimentos flexibles, logrando de esta manera la mitigación de fallas o fisuras prematuras en el pavimento, el mismo que tendrá mayor vida útil, y menor cantidad de mantenimientos periódicos.

1.4 Planteamiento del problema

Las estructuras de pavimentos flexibles están diseñadas para soportar las cargas repetitivas del tránsito y poder distribuir las de manera uniforme a la superficie de subrasante, capa encargada del soporte de la vía, sin embargo, con el pasar del tiempo, cambios de temperatura constantes y el aumento de vehículos se generan fallas a la estructura.

En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla (Miranda, 2010, p. 16).

A pesar de que existen varios factores que llegan a causar fallas a la estructura de pavimento en el planteamiento de problema nos centraremos en las fallas por fatiga, que causan fisuras y grietas y se las puede definir como: “Una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de

carga” (p. 16)., en base a estudios que se han realizado se logra conocer que este tipo de fallas tienen inicio en las capas inferiores, donde el esfuerzo a tensión es mayor por las cargas transmitidas dando como resultado una serie de fisuras que en su conjunto dan la forma de piel de cocodrilo.

Por este motivo las estructuras de pavimentos flexibles deben tener mayor control y mantenimiento que los pavimentos rígidos, sin embargo, en países como el nuestro se tiene total conocimiento que muchas de las veces no se toma acción para el cumplimiento de mantenimientos periódicos, dados por el diseñador con el objetivo de que la estructura vial cumpla su periodo de vida útil, a la final de todo esto llegamos a tener vías que han alcanzado un nivel de servicio muy bajo por su alto grado de deterioro, teniendo como consecuencia vías que deben ser intervenidas mucho antes de su periodo de vida, presentando en el mayor de los casos soluciones con costos elevados por consecuencia de trabajos de rehabilitación en la sección de vía deteriorada.

1.5 Objetivos

Objetivo general

- Conocer las ventajas que tiene la implementación de un material geosintético, tipo geomalla de fibra de vidrio, sobre una estructura de pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica sometida a ensayo de fatiga.

Objetivos específicos

- Tener conocimiento pleno y saber diferenciar entre los tipos de pavimentos que existen actualmente y el uso adecuado que se le debe dar a cada uno.
- Saber que son los geosintéticos y como ayudan en obras civiles, sus funciones principales y secundarias, sus usos y tipo.
- Escoger la geomalla de fibra de vidrio adecuada para trabajos de repavimentación en vías de primer orden.
- Realizar un ensayo de simulación de fatiga por carga cíclica adecuado en las vigas elaboradas, en base a un criterio competente que permita entregar resultados acordes a la investigación, sin dejar de lado el enfoque que se desea obtener.

- Presentar conclusiones y recomendaciones en base a los beneficios y falencias que se obtuvieron tras los ensayos, tratando de incentivar el uso de materiales externos como es el caso de los geosintéticos en obras civiles que ayuden a obtener resultados sobresalientes con menores costos a los métodos tradicionales.

1.6 Metodología

Para llevar a cabo el ensayo de carga cíclica, es necesario construir vigas compuestas por dos mezclas asfálticas: una antigua y una nueva. Esta configuración simula un escenario de rehabilitación vial. La mezcla antigua contiene una grieta inducida con un espesor preestablecido, lo que permitirá observar cómo la falla se propaga a través de la mezcla nueva hasta la superficie.

Una vez finalizada la construcción de las vigas, se procede a realizar el ensayo de carga cíclica utilizando la máquina Cooper HYD25. Con este equipo se simula el paso de un vehículo a una velocidad determinada. La carga se coloca en el centro de la viga, sobre una placa de acero. Además, se configura la frecuencia del ensayo. Durante el proceso, la viga se apoya sobre una plancha de goma para simular las propiedades semielásticas de la capa base de una estructura de pavimento flexible. Esto permite que la viga se flexione bajo la acción de la carga y se recupere en la descarga.

Con el fin de visualizar mejor las grietas que se propagan en las caras irregulares de la viga, se recomienda pintarlas con látex de color blanco.

CAPÍTULO II

CONCEPTOS GENERALES

2.1. Pavimento

Según (Reyes & Rondón, 2015) “Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales multicapa es decir, están constituidos por el conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuestas por materiales seleccionados”

Un pavimento se compone de la combinación de capas que se implementan mediante técnicas con materiales apropiados y compactados. Las capas se apoyan sobre la subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Es importante que el pavimento sea resistente a las condiciones climáticas a las que se verá sometido a lo largo de su vida útil y que brinde un nivel de confort y seguridad adecuado para el tránsito vehicular y peatonal, además de cumplir con el nivel de servicio esperado a pesar del paso del tiempo.

Por lo tanto, es fundamental realizar un mantenimiento preventivo y adecuado de los pavimentos para prolongar su vida útil y reducir los costos de reparación a largo plazo. En definitiva, los pavimentos son una parte crucial de la infraestructura de las carreteras y deben ser diseñados, construidos y mantenidos adecuadamente para garantizar una infraestructura segura y duradera.

2.2. Clasificación de pavimentos

2.2.1. Flexibles

Estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase, afirmado y en algunos casos subrasante mejorada material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante. (Reyes & Rondón, 2015, p. 29).

En la figura 2.1 se observa una sección típica de una estructura de pavimento flexible conformada por sus distintas capas como se menciona anteriormente.

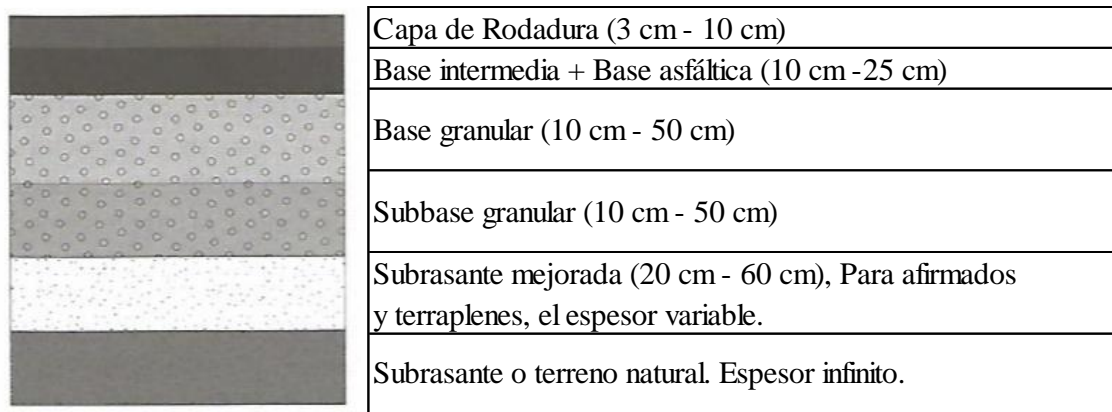


Figura 2.1: Perfil típico de una estructura de pavimento flexible

Fuente: (Reyes & Rondón, 2015)

El material primordial en estructuras de pavimentos flexibles es el asfalto, material encargado de ligar el agregado pétreo para conformar una mezcla asfáltica, y es el encargado de brindar resistencia mecánica bajo cargas aplicadas, impermeabilidad y durabilidad, este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase (Gomez Vallejos, 2014). No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

Lo que tenemos en la Figura 2.2 es la representación de la estructura típica de un pavimento flexible.

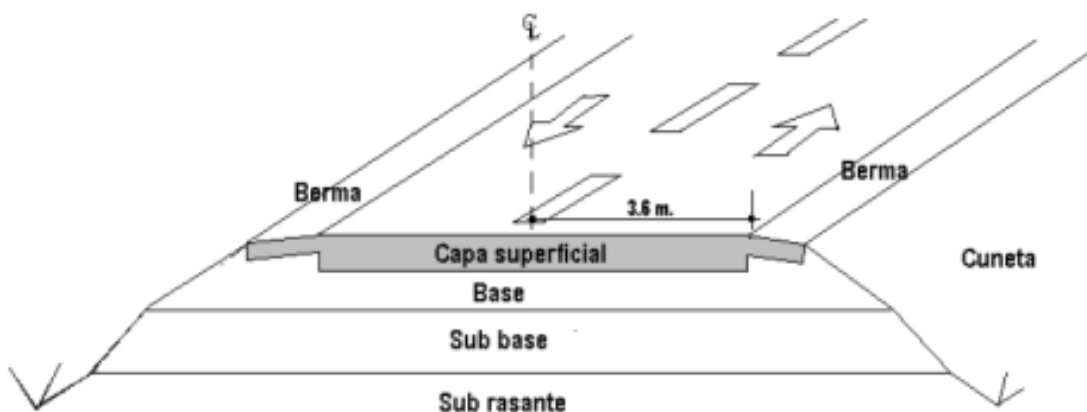


Figura 2.2: Estructura típica de un pavimento asfáltico (flexible)

Fuente: (Monsalve, Giraldo, & Gaviria, 2012)

2.2.2. Rígidos

Los pavimentos rígidos están formados como se visualiza en la Figura 2.3 por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia.

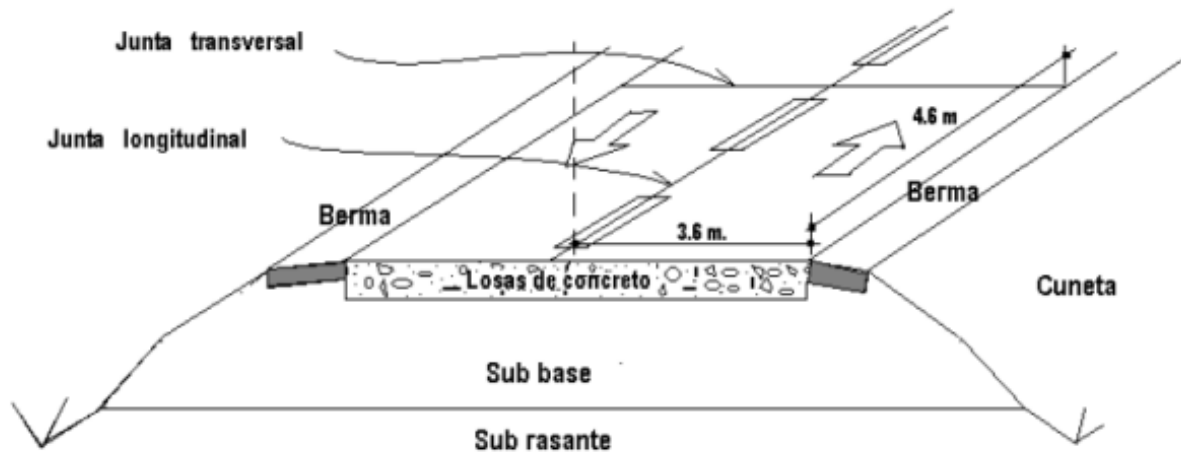


Figura 2.3: Estructura típica de un pavimento rígido

Fuente: (Monsalve, Giraldo, & Gaviria, 2012)

2.2.3. Semi-Rígidos

En los pavimentos flexibles, se puede incluir una capa que ha sido rigidizada artificialmente con un aditivo como asfalto, emulsiones, etc. La inclusión de estos aditivos tiene como objetivo corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son adecuados para la construcción de las capas del pavimento.

2.2.4. Articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado como se muestra en la Figura 2.4, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

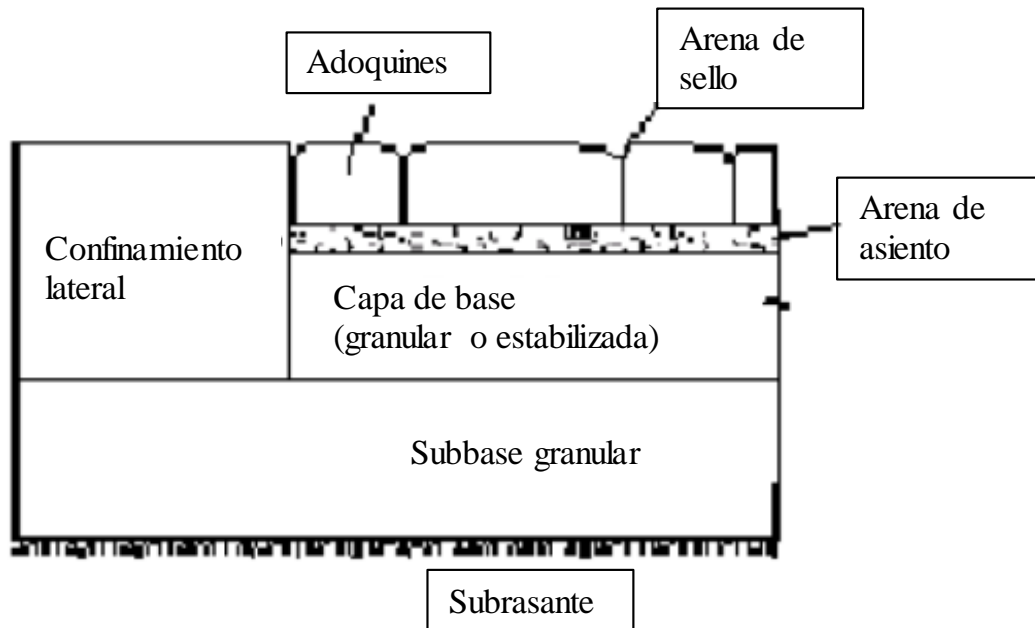


Figura 2.4: Estructura típica de un pavimento articulado

Fuente: (Monsalve, Giraldo, & Gaviria, 2012)

2.3. Asfalto

Los asfaltos se utilizan generalmente para la construcción de pavimentos, es un material cementante de color café oscuro o negro, de consistencia sólida o semisólida en que sus principales constituyentes son betunes o mezclas de hidrocarburos, que se presentan en la naturaleza como tales o se obtienen en la refinación del petróleo. Se dice que el asfalto es un material bituminoso ya que contiene bitumen, es decir, un hidrocarburo soluble en disulfuro de carbono.

2.4. Mezclas asfálticas

Según (Prada , Gonzáles , & Reyes , 2010) la tecnología de las mezclas asfálticas modificadas ha sido ampliamente estudiada y utilizada en el mundo. Con la adición de polímero u otros productos al asfalto se modifica las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas, con el fin de mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente. Por lo general se desea mejorar la rigidez, la resistencia bajo carga monotónica, al ahuellamiento, a la fatiga y al envejecimiento, así como disminuir la susceptibilidad térmica y el daño por humedad. Esto mejora el comportamiento resiliente (recuperación elástica) de las mezclas cuando son solicitadas a ciclos de carga y descarga.

2.5. Daños en pavimentos flexibles

Cada elemento y/o componente de cualquier tipología de pavimento está constantemente sometida a varias cargas de índole externa o interna. Es por este motivo que con el pasar del tiempo se desarrollan ciertos daños en los pavimentos; cada uno de estos daños posee varias particularidades, cada uno de ellos se enlista a continuación:

2.5.1. Fisuras o piel de cocodrilo

Esta se denomina como figuras o situaciones en las cuales se presentan polígonos totalmente irregulares con diámetro superior a un diámetro de 30 cm. Tales fisuras empiezan en la capa inferior de la capa asfáltica; su origen reside en las tensiones o deformaciones debidas a la tracción.

Las grietas se extienden sobre la superficie, primero en forma de una serie de fallas longitudinales paralelas, luego, bajo la influencia del efecto de retroceso, se desarrollan, entrelazándose entre sí y formando una rejilla cerrada similar a la piel de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en lugares sujetos a movimiento, por ejemplo, en los caminos de los canales de transporte. Si la base y la subbase son débiles, también se agrietarán. Cuando el drenaje es insuficiente, primero aparecen grietas en los canales de drenaje externos. En la etapa final, la grieta se convierte en un hoyo. Las grietas y por supuesto a lo que llamamos piel de cocodrilo aparecerán en el mismo lado del pavimento que las grietas, surcos y baches (Mineros , 2004).

Entre las posibles causas para que origine este tipo de falla en el pavimento flexible tenemos:

- Fatiga de las capas asfálticas
- Pavimento sin capacidad estructural para resistir las cargas de diseño
- El ligante ha llegado al final de su vida útil, y ha perdido toda su flexibilidad.

2.5.2. Fisuras de bloque

Son las fisuras interconectadas que tienden a formar figuras rectangulares de diámetros superior a los 30 cm en un área variable de 0.10 a 9 metros cuadrados de superficie. Este tipo de imperfecciones se muestran tanto en áreas transitadas, así como en las que no. Las posibles causas de su origen son:

- Contracción de las mezclas asfálticas debido al cambio de temperatura
- Son comúnmente encontradas en pavimentos bituminosos con bases granulares mejoradas con cemento portland.
- Depende del volumen de agregado con base en si este es fino o grueso.
- Dureza sobre forzada en todo el pavimento (Mineros , 2004).

2.6. Rehabilitación de pavimentos flexibles

2.6.1. Mantenimiento tradicional en pavimentos flexibles

Se puede aseverar que la superficie de rodadura es la que determina en mayor medida la posibilidad de una circulación rápida, cómoda y segura; es por tal motivo que es de suma importancia eliminar oportunamente las degradaciones apenas estas sean evidenciadas para evitar su avance y promulgar la mantenibilidad o en su defecto necesita una reconstrucción completa para eliminarlos. Durante muchos años, el mantenimiento general de los pavimentos flexibles se ha realizado tradicionalmente mediante parchado, relleno, bacheo y renivelación los cuales pueden usarse solos o en combinación. La siguiente es una descripción general de cada una de estas funciones (Marchan , 2005).

- Relleno de grietas: Los procesos de fabricación utilizados para reparar grietas dependen del tipo (único o múltiple), ancho y profundidad de las grietas; estos procesos van desde el relleno de grietas con un producto asfáltico, una solución asfáltica o un tratamiento superficial hasta la programación de un nuevo aglutinante o sobre aglomerante (Marchan , 2005).
- Renivelación: El método de renivelación depende de la magnitud de la deformación, el trabajo para corregir esta deformación puede implicar el uso de un sistema de riego superficial o una mezcla asfáltica (Marchan , 2005).
- Bacheo: Es un reemplazo de parte de la superficie de la carretera destruida por el tráfico como se puede apreciar en la Figura 2.5. Estas áreas se subdividen en hoyos, según su tamaño, menos o más de quince centímetros (15 cm), respectivamente. Los métodos para solucionarlos se basan en la forma en que aparece las imperfecciones hoyos (único o macizo) al costado de la carretera y el tamaño del bache. Para su reparación, se utiliza una mezcla de hormigón asfáltico (Marchan , 2005).

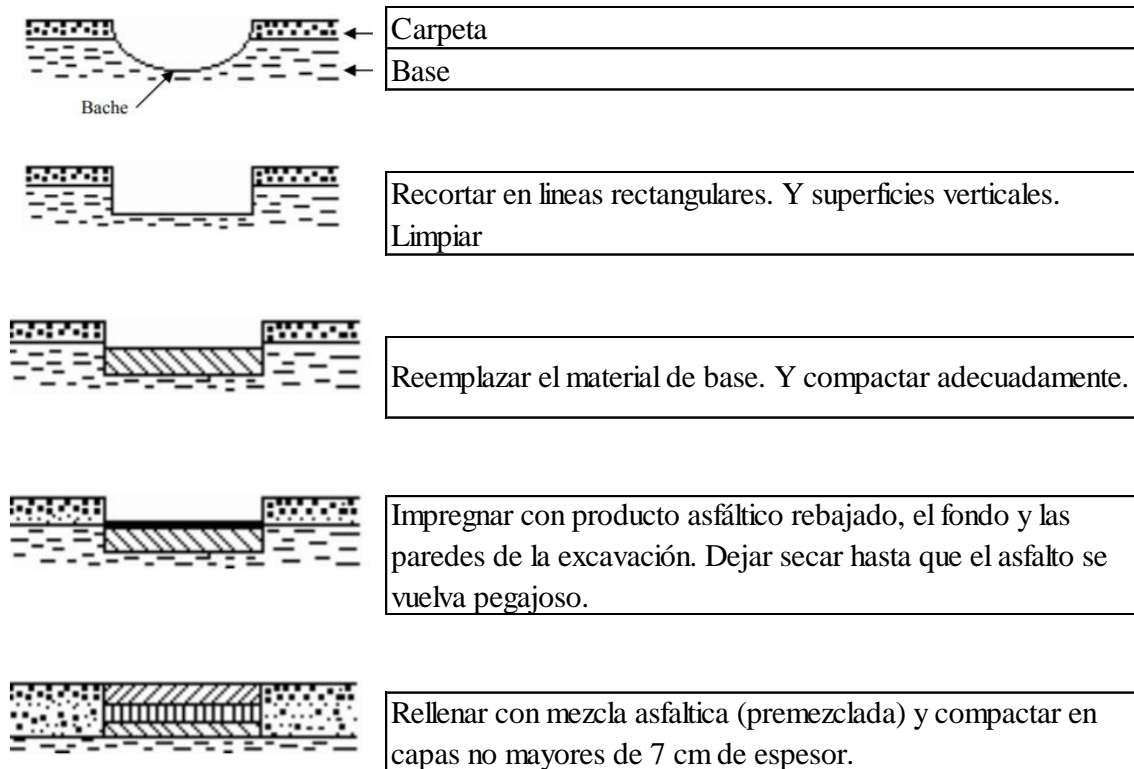


Figura 2.5: Bacheo

Fuente: (Marchan , 2005)

2.6.2. Sellado de grietas

Para un mantenimiento efectivo del pavimento, es muy importante que tanto la base como las demás capas permanezcan lo más secas posible. Las grietas permiten el paso del agua entre estas capas y reducen su capacidad portante. Por lo tanto, una de las tareas principales del mantenimiento de pavimentos es mantener una adecuada impermeabilidad de la superficie, mientras que las grietas deben estar permanentemente selladas.

Como material de relleno tenemos que:

- Se recomienda la emulsión de asfalto de curado rápido para aplicaciones generales de relleno de grietas. A menudo se usa asfalto muy pesado (de alta viscosidad), aunque estos materiales no penetran en las fracturas y solo brindan compactación superficial.
- Para el relleno de grietas de menos de 3 mm de ancho se utilizan productos asfálticos cuya fluidez asegura la penetración a una determinada temperatura de aplicación.
- Para el caso de grietas de mayor a los 3 mm de ancho, se utiliza una mezcla de producto asfáltico y arena fina, cuya fluidez garantiza una penetración suficiente,

o es posible rellenar capas de arena y producto asfáltico alternativamente; La última capa debe ser un producto asfáltico como condición predominante.

- Las grietas no deben usarse para una mejor penetración del material de relleno.
- En presencia de grietas profundas que se extienden hasta la base o subrasante, es muy importante investigar la causa de la falla para determinar la solución y los procedimientos de reparación más apropiados.
- En presencia de fisuras abundantes, pero muy ligeras, cuya profundidad afecte únicamente al conglomerante, y en ausencia de deformaciones irreversibles, si su anchura es inferior a 3 mm, pueden repararse mediante tratamiento superficial a base de mortero asfáltico. Si su ancho supera los 3 mm, su reparación puede incluir reciclado y/o aglutinante encima (Marchan , 2005).

2.6.3. Tratamiento superficial a base de mortero asfáltico

También se puede definir como un Slurry Seal, que es una mezcla de emulsión asfáltica, material pétreo, agua y aditivos variados que permiten una distribución uniformemente aplicable a toda una superficie previamente definida.

Los siguientes materiales se utilizan para preparar sellos de suspensión

- Asfalto emulsionado bajo normativa ASTM D977.
- Material pétreo como; piedra triturada de manera natural o industrial (granito, escoria, caliza u otros áridos de alta calidad o combinaciones de los mismos).
- La arena que tenga una absorción de agua uniforme o inferior al 1,25 % no debe exceder el 50 % del volumen total de la mezcla de áridos.
- El relleno mineral puede ser cemento Portland, cal, piedra caliza u otro relleno que se enlisten en la norma ASTM D242.
- El agua debe ser potable y libre de impurezas que dificulten la mezcla.
- Extras; aditivos que pueden acelerar o ralentizar el tiempo de fraguado (International Slurry Surfacing Association, 2010).

2.7. Geosintéticos

Los geosintéticos son productos derivados de fibras poliméricas termoplásticas generalmente y utilizados en aplicaciones geotécnicas. Están diseñados para su uso como filtros, drenajes, separadores o refuerzos planares o tridimensionales, por lo que están en contacto directo con suelos o materiales reciclados en diversas aplicaciones de ingeniería

civil y geotécnica. La fabricación de estos productos se basa en procesos de extrusión, tecnología textil y una combinación de ambos.

En el campo de la ingeniería civil, los geosintéticos más utilizados son los geotextiles tejidos y no tejidos seguidos por las geomallas uniaxiales y biaxiales, las geomembranas, las geoceldas y los revestimientos anti erosivos, siendo estos últimos una combinación funcional de otros productos.

Estos materiales se utilizan en obras de pavimentación, vías férreas, obras mineras, lagunas, estanques, taludes, áreas con problemas de erosión, muros de contención, puertos, drenajes, etc. En cada una de las funciones anteriores, la geosintéticos se diseñan y utilizan para realizar las funciones de separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección y dependiendo de su función, la geosintéticos tienen sus propiedades mecánicas, hidráulicas y de durabilidad. La idea de fortificar el suelo con diversos materiales ha ido evolucionando continuamente desde la época en que se construyeron o se originaron las carreteras (Beltran, 2013).

2.7.1. Propiedades de los geosintéticos

Las propiedades comunes de este tipo de materiales son:

- Propiedades mecánicas
 - Resistencia a la tensión (N)
 - Resistencia al estallido(psi)
 - Resistencia al punzonamiento (KN)
 - Resistencia al rasgado trapezoidal
- Propiedades físicas
 - Tipo de polímero
 - Espesor (mm)
 - Resistencia UV (%)
 - Ancho del rollo (m)
 - Largo del rollo (m)
 - Área del rollo (m²)
- Propiedades hidráulicas
 - Permisividad (seg)
 - Tasa de flujo
 - Permeabilidad (m/seg) (Gonzáles et al., 2015, p. 4).

2.7.2. Funciones de los geosintéticos en la industria civil

Algunas aplicaciones populares son refuerzo, separación, drenaje, filtración y protección contra la humedad, control de fugas, cimientos y pavimentación. El éxito y la creciente popularidad de los geosintéticos en varias aplicaciones de construcción se pueden atribuir a los muchos beneficios asociados con su uso, algunos de los cuales son:

- Pueden ser un buen reemplazo para materiales de construcción tradicionales raros y costosos, como el hormigón y el acero, para una amplia variedad de aplicaciones.
- Pueden ser muy útiles o quizás la única opción en algunas situaciones malas del sitio.
- Se pueden usar e instalar rápidamente y han demostrado ser económicos en uso a gran escala.
- En comparación con otros materiales de refuerzo (como el acero), son más resistentes a la intemperie y la intemperie.
- Su ventaja adicional es que son útiles en el trabajo de protección ambiental (INGENIERÍA GEOLÓGICASX, 2017).

APLICACIONES	FUNCION			
	SEPARACION	FILTRACION	DRENAJE	REFUERZO
Estabilización de carreteras, ferrocarriles y subrasantes.				
Drenaje.				
Terraplenes de rellenos húmedos.				
Protección costera y fluvial.				
Recuperación del suelo y de tierras.				
Refuerzo de asfaltos.				
Refuerzo de tierras.				



Figura 2.6: Aplicación de los geosintéticos en el área de ingeniería civil

Fuente: (INGENIERÍA GEOLÓGICASX, 2017).

2.7.3. Composición de los geosintéticos

La composición de los geosintéticos consta de varios elementos, incluidos los polímeros y algunas fibras naturales como el algodón, el yute y la caña. El polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el cloruro de polivinilo (PVC) son los polímeros más utilizados (Díaz et al., 2009).

2.8. Geomalla de fibra de vidrio

En los últimos años, la geotecnia aplicada a las superficies de carreteras se ha desarrollado significativamente. El estudio del asfalto se ha vuelto muy especializado, y esto es evidente en el uso de diversos materiales para la construcción de carreteras, desde el hormigón hasta los residuos. La geomalla de fibra de vidrio es un material cuyas características físicas mejoran algunas propiedades de la capa asfáltica.

2.8.1. Propiedades de las geomallas de fibra de vidrio

El prototipo de geomalla posee las siguientes particularidades. A continuación, se las detalla en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Propiedades de la geomalla de fibra de vidrio

Características	Valores
Elongación a la rotura (%)	≤ 4
Apertura (mm x mm)	25,4 x 25,4
Módulo Elástico (Gpa)	67
Resistencia Térmica	$-100 < T^{\circ} < 280 $
Resistencia a la corrosión	Inerte
Superficie de tratamiento	BITUMEX PVC
Rotura	50 a 100

Fuente: (Ramírez , 2013).

2.8.2. Ventajas de aplicar geomallas de fibra de vidrio

Existen serias implicaciones al momento de analizar las ventajas y el comportamiento de las geomallas de fibra de vidrio. Algunas de ellas se enlistan a continuación:

- Inmune al efecto de deformación lenta (Creep)
- Alta resistencia a largo plazo
- El módulo de elasticidad de la geomalla supera por 20 veces al del asfalto
- Posee un comportamiento totalmente elástico

Capítulo III

METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación tiene por objeto analizar la eficiencia al respecto de la implementación de geomalla tipo: fibra de vidrio, como material de refuerzo para obras de reparación o rehabilitación de pavimentos flexibles. Pero como es previsto, para lograr este particular propósito es necesario emplear una serie de métodos, modalidades, alcances, tipos de investigación y métodos de investigación acordes para la edificación de este documento de investigación.

3.1. Modalidad de la investigación

El desarrollo metodológico de todo proceso investigativo responde a una serie de particularidades; tal es el caso de la presente investigación, es acertado acotar que todo el modelo tiene una tipología cuantitativa. Es decir, todo el documento se basa en interpretaciones numéricas de las características para la implementación de una geomalla que tiene como base fibra de vidrio para determinar su aplicabilidad como refuerzo en pavimento flexible en proyectos de repavimentación o rehabilitación.

3.1.1. Modalidad cuantitativa

Es acertado acotar que las investigaciones de carácter cuantitativo se caracterizan por comprender y analizar valores matemáticos de una variable de estudio (Hernández Sampieri, 2014). Tal es el caso del presente trabajo de investigación y su detalle por efectuar y emplear probetas para establecer las particularidades de las mallas de fibra de vidrio para su aplicación como refuerzo.

3.2. Alcance de la investigación

El alcance de la presente investigación se contempló bajo las siguientes particularidades.

3.2.1. Estudios descriptivos

Las indagaciones de carácter descriptivo son las cuales se enfocan en comprender distintas variables con el propósito de realizar caracterizaciones al momento de analizar, varios fenómenos y hechos (Hernández Sampieri, 2014). Este tema tiende su origen en precisar las respuestas del investigador al respecto de un tema de estudio debidamente fundamentado con el propósito de exponer los resultados de una manera simple, pero sin comprometer la complejidad de los resultados.

3.3. Tipos de investigación

La investigación efectuada debió ser debidamente sustentada con el propósito de edificar las bases para su implementación y puesta en marcha. Es por tal motivo que contempló los siguientes aspectos.

3.3.1. Bibliográfica documental

Las investigaciones de carácter documental se desarrollan por medio de una búsqueda documental en diferentes textos académicos; tal es el caso de libros, tesis, artículos científicos, doctorados, entre otros (Hernández Sampieri, 2014).. Es necesario señalar que el procesamiento de información nunca debe contemplar el análisis de información de sitios como es el caso de blogs o revistas no o indexadas, mismas que no tienen sustento académico. Por medio de esta tipología de investigación es posible sustentar adecuadamente la información para edificar un documento completo que pueda responder a la problemática evidenciada.

3.3.2. Diseños experimentales

Las investigaciones de carácter experimental se enfocan en identificar el comportamiento de una determinada variable, modelo, elemento; que fue puesto como modelo de análisis y/o manipulación para por medio de una diseño apropiado o método de ensayo deja en evidencia sus particularidades. Es por tal motivo que a continuación se detalla el procedimiento para el levantamiento de información con respecto a los ensayos necesarios para establecer el comportamiento de un pavimento flexible utilizando geomalla como refuerzo. El diseño experimental se expone a continuación y cumple con los siguientes apartados; preparación de probetas, máquinas de ensayo y procedimiento de ensayo.

3.4. Bases y directrices de la investigación

La investigación se fundamenta principalmente en la tesis de Ramírez M. (2013). A partir de dicho estudio, se extraen las directrices y orientaciones que se detallan a continuación. No obstante, es importante destacar que, aunque la idea proviene del trabajo mencionado anteriormente, la metodología utilizada es diferente, ya que ambos proyectos de investigación fueron desarrollados bajo parámetros y condiciones distintas. Teniendo esto en cuenta, se presentan las directrices y orientaciones de la metodología original.

3.4.1. Preparación de probetas

Con el propósito de establecer un modelo para estimar las características de la geomalla como método de refuerzo es necesario estructurar una serie de probetas, mismas que responden a una serie de vigas de pavimento mismas que por medio de una máquina industrial se puede simular el paso del tránsito, y de esta manera poner a prueba cada uno de los modelos. Los materiales empleados en el desarrollo de cada una de las probetas se componen de una mezcla de arena, asfalto y geomalla de fibra de vidrio. Para la construcción de la probeta es necesario emplear un molde para la construcción de las vigas cuyas dimensiones son las siguientes; largo 55 cm, ancho 15 cm y profundidad de 15 cm.

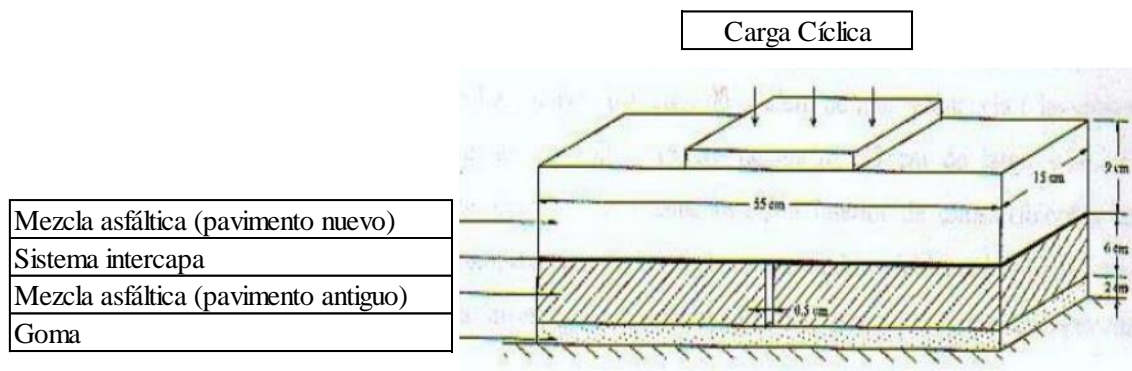


Figura 3.1: Viga sometida a carga cíclica

Fuente: (Pardos & Canata , 2012)

Las vigas para el proceso de ensayado requieren de un proceso metódico de construcción dado que es necesario eliminar el pandeo de las vigas una vez listas para el ensayado. Es importante recordar que la realización de la mezcla asfáltica requirió de agregados pétreos para la fabricación del pavimento. Cada uno de los porcentajes empleados se obtuvo de una dosificación característica para posterior colocación en el molde. Una vez colocada la mezcla esta debió ser compactada por medio de un instrumento denominado como pisón de Marshall para unir cada una de los materiales empleado en la creación de la probeta.

3.4.2. Máquina universal hidráulica

Universal Testing Machine (UH) es una herramienta desarrollada en base a una variedad de aplicaciones, cada una con sus propias características. La más común de estas

máquinas es la UH F500 KN IR, que pertenece a la serie UH X/FX. Las principales características de la máquina son:

- Las características de la máquina proporcionan una mejora significativa en la facilidad de gestión de pruebas.
- La máquina universal hidráulica es un dispositivo totalmente electrónico, lo que hace que la operación sea más intensiva.
- Gracias a la pantalla táctil LCD, la operación es más completa.
- Incluye una serie de programas de control automático, entre ellos.
- El diseño ecológico ahorra energía y aceite.
- Reduce el consumo de energía en un 82%.
- Pantalla analógica, diámetro 450 mm. La pantalla de control está dentro del mismo campo de visión, lo que permite no perder de vista los pequeños cambios durante la prueba, como el punto de fluidez.
- Su función de muestreo ultrarrápido asegura que no haya fluctuaciones repentinas en las fuerzas aplicadas.
- Su software incluye varios programas de control automático.
- Los parámetros de control en tiempo real basados en la fuerza y los valores medidos durante las pruebas eliminan la necesidad de realizar pruebas previas y proporcionan mediciones de la curva de fuerza-deformación de alta precisión (SHiMADZU, 2015).

3.4.3. Procedimiento de ensayo

Una vez finalizada la construcción de las vigas, se deben ensayar con una máquina de compresión (Máquina Universal Hidráulica). El ensayo consistía en simular la trayectoria de un vehículo, y para ello se aplicó cargas cíclicas (cargas y descargas). La carga se transporta sobre una placa de acero hasta el centro de la viga, fluctuando en frecuencia, a veces debido a requisitos de máquina y/o prueba; Sin embargo, en promedio 0,2 Hz. (5 segundos), esto corresponde a un automóvil que viaja a una velocidad estimada de 20 km/h. Es importante destacar que las pruebas con estas máquinas, si bien es cierto que por su automatización aportan una mayor precisión y fiabilidad de los resultados, también funcionan en función del material sobre el que se aplica la carga.

Durante la prueba, la viga está sostenida por una placa de caucho que simula las características semielásticas de la base, lo que permitía que la viga se deforme bajo carga

y se recuperara cuando no cargaba. Las grietas se producen bajo carga, por lo que al mismo tiempo que se mide la longitud, es necesario tomar medidas a lo largo de la prueba, teniendo en cuenta su aparición en el ciclo de carga correspondiente. Para tener una mejor visión de la propagación de la grieta debido al ensayo, es importante pintar algunas partes de la viga con látex blanco. Es necesario registrar la fisura más representativa de cada viga.

Para simplificar la lectura de los ensayos, se debe entender por fisura generada aquella que se generó para establecer la fisura inicial del pavimento antiguo en relación con el nuevo. Las grietas que aparezcan por el uso de ciclos de carga, se denominarán, en lugar de unas, grietas o fisuras. Durante todo el proceso, cada viga debe ser marcada con una letra y un número según un sistema que permita su identificación.

Capítulo IV

ENSAYOS DE LABORATORIO Y CONTROL

Demostrar los beneficios estructurales que brinda la adición de un geosintético como medio de refuerzo a una estructura de pavimento flexible en proyectos de rehabilitación o repavimentación es el objetivo de este capítulo. Este proceso consiste en incorporar una geomalla de tipo fibra de vidrio entre el nivel de la mezcla asfáltica antigua y nueva, elaborando una viga con las siguientes medidas: largo 35cm, ancho 15cm y altura 15cm, la misma que sería sometida a un ensayo simulado de cargas cíclicas con una frecuencia inicial de 0.2 Hz (5 segundos) y cargas variables desde los 6 KN hasta los 18 KN según sea el caso, de esta manera poder simular el paso repetitivo de vehículos sobre la estructura y así inducir fatiga a la viga en ensayo, para llevar a cabo el ensayo se utilizó la maquina universal de marca COOPER TECHNOLOGY HYD25, que se encuentra en el área de pavimentos en el laboratorio de suelos de la Pontifica Universidad Católica del Ecuador en la facultad de Ingeniería.

Para el análisis se tomó una viga patrón la cual no se le incorporó ningún tipo de refuerzo entre las capas de mezcla asfáltica, a esta viga se le realizó una grieta con el objetivo de tener un plano de falla predeterminado, esta viga patrón bajo las mismas condiciones de diseño, fue comparada con otras dos vigas: Una con refuerzo y otra con refuerzo, pero menos espesor de mezcla.

4.1. Generalidades

En la actualidad usan la técnica del recapeo para repavimentar una vía en condiciones donde requiere una intervención debido a su condición actual de deterioro; esta metodología consiste en sobreponer una capa de mezcla asfáltica adicional a la estructura existente; sin embargo, este método no elimina la reflexión de grietas a largo plazo.

Para solventar este problema en la actualidad se usan sistemas SAMI (stress absorber membrane interlayer), técnica que consiste en añadir una intercapa como membrana, misma que permite absorber los esfuerzos que se concentran en las fisuras y grietas.

4.2. Metodología a simular

El método por incorporar consiste en seguir el siguiente proceso:

- a) Preparar la superficie del pavimento.
- b) Eliminar todo el polvo y humedad que sea posible
- c) Dar un buen tratamiento de sellamiento a las grietas.

- d) Aplicar un riego de liga que permita la adherencia de la geomalla a la capa de rodadura antigua.
- e) Posterior a eso se añade una segunda capa de riego de liga para garantizar la fusión de las capas asfálticas, finalmente se aplica y compacta la carpeta asfáltica nueva.
- f) Tomar en consideración que la geomalla no presente ondulaciones o arrugas, ya que debe estar bien tensada para que cumpla la función adecuada.

4.3. Desarrollo

4.3.1. Calificación de mezcla asfáltica

Para la presente investigación se utilizó la fórmula maestra que está adjunta en los anexos la cual pertenece a la planta asfáltica de “A&P Constructora”, de ahí se obtuvo los agregados necesarios para elaborar la mezcla asfáltica; la mina se encuentra localizada en el sector de las Viñas, ubicada en el paso lateral de Ambato provincia de Tungurahua.

Se decidió utilizar un diseño preliminar con el objetivo de facilitar los análisis en laboratorio para que la tesis sea viable para su desarrollo. El asfalto que se utilizó es producido en la refinería Estatal de Esmeraldas (AC-20).

Sin embargo, para este caso se rediseñó la mezcla original por las condiciones de trabajo y compactación a las que fue sometida la mezcla asfáltica dando un porcentaje óptimo de AC de 6.55%.

Los resultados que se presentan a continuación, de forma resumida, también están adjuntos en los anexos, dado que se elaboró un informe por parte del Laboratorio de Pavimentos de la PUCE ahí se podrá encontrar toda la información de ser necesario.

La Tabla 4.1 muestra los resultados del ensayo Marshall obteniendo de esta manera la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica, teniendo valores sobresalientes.

Tabla 4.1: Resultado estabilidad y flujo.

Fecha de realización	Briqueta	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk	Gmm	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"	
		Vol.	g/cm ³	g/cm ³	Medida	F Correc.	Corregida		
22/6/2022	1	529,6	2,150	2,375	3240	0,96	3110	10	
	2	530,0	2,157	2,375	3300	0,96	3168	11	
	3	527,4	2,167	2,375	3400	0,96	3264	11	
	PROMEDIO		2,158	2,375				3181	10
	4	531,0	2,149	2,352	3450	0,96	3312	12	
	5	532,4	2,153	2,352	3340	0,96	3206	12	
	6	531,3	2,158	2,352	3150	0,96	3024	12	
	PROMEDIO		2,154	2,352				3181	12
	7	524,1	2,200	2,331	3450	0,96	3312	12	
	8	527,4	2,187	2,331	3060	0,96	2938	12	
	9	523,2	2,202	2,331	3490	0,96	3350	12	
	PROMEDIO		2,196	2,331				3200	12
	10	524,3	2,208	2,306	3260	0,96	3130	12	
	11	519,9	2,230	2,306	2960	1,00	2960	13	
	12	523,2	2,211	2,306	3750	0,96	3600	13	
PROMEDIO		2,216	2,306				3230	12	
13	521,9	2,233	2,281	3250	1,00	3250	13		
14	520,1	2,238	2,281	3400	1,00	3400	11		
15	524,5	2,225	2,281	3230	0,96	3101	13		
PROMEDIO		2,231	2,281				3250	12	

Elaborado por: Moreno L, 2023

Se puede apreciar los resultados obtenidos tras el ensayo ASTM C 127, para el agregado grueso, medio y arena, en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Resultados de las gravedades específicas de los agregados.

	Gravedad Específica Bulk		Gravedad Específica SSS		Gravedad Específica AP		% de Absorción
GRUESO	2,637	gr/cm ³	2,672	gr/cm ³	2,734	gr/cm ³	1,36
MEDIO	2,571	gr/cm ³	2,608	gr/cm ³	2,670	gr/cm ³	1,44
ARENA	2,462	gr/cm ³	2,534	gr/cm ³	2,653	gr/cm ³	2,92

Elaborado por: Moreno L, 2023

La Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4, Figura 4.5 y Figura 4.6 podemos observar el diseño gráfico de la mezcla asfáltica con el AC óptimo obtenido, con sus distintas propiedades mecánicas.

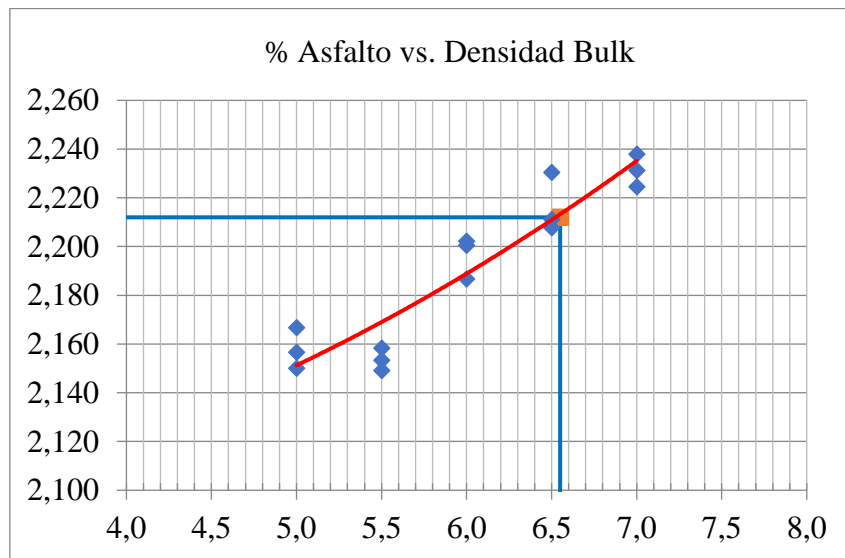


Figura 4.1: % Asfalto vs. Densidad Bulk

Elaborado por: Moreno L, 2023

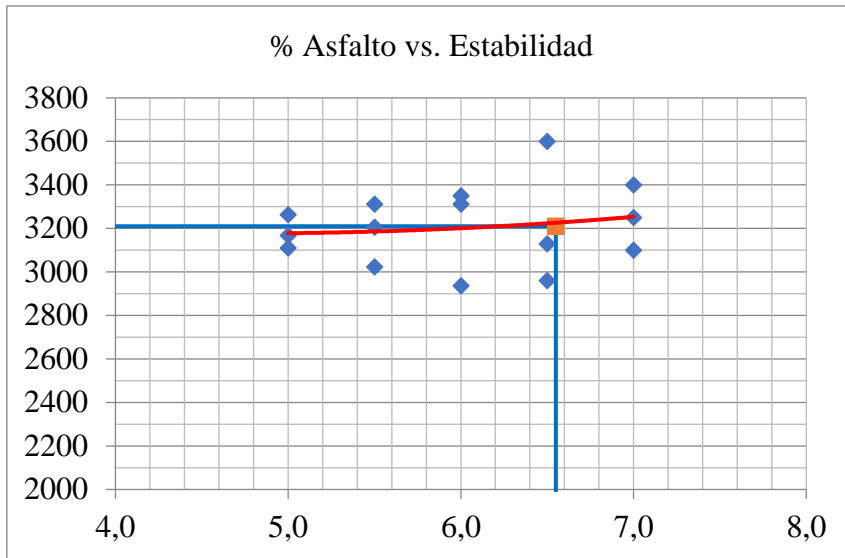


Figura 4.2: % Asfalto vs. Estabilidad

Elaborado por: Moreno L, 2023

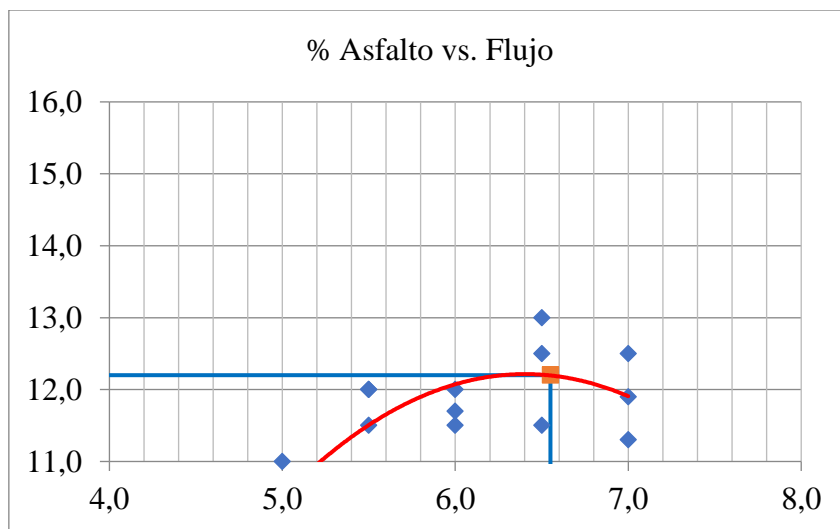


Figura 4.3: % Asfalto vs. Flujo

Elaborado por: Moreno L, 2023

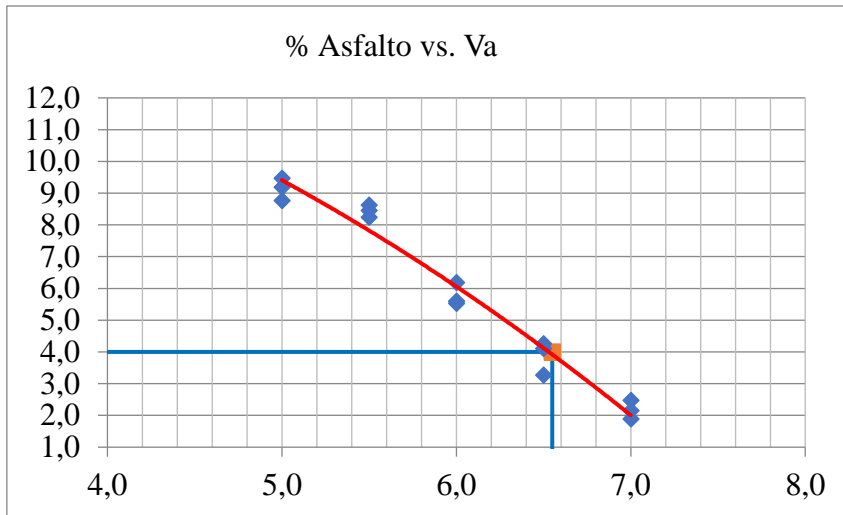


Figura 4.4: % Asfalto vs. Va

Elaborado por: Moreno L, 2023

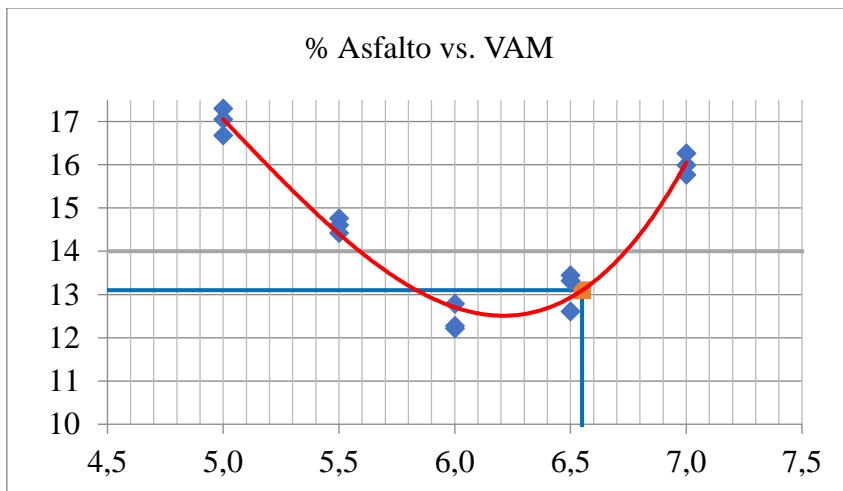


Figura 4.5: % Asfalto vs. VAM

Elaborado por: Moreno L, 2023

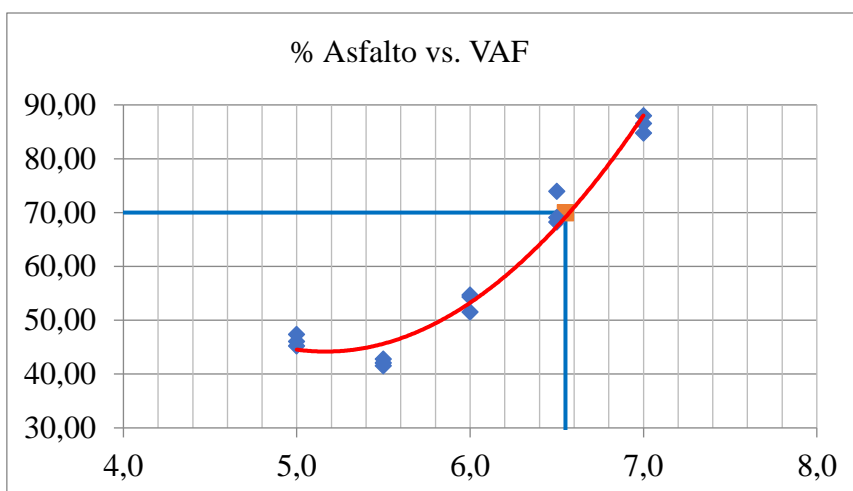


Figura 4.6: % Asfalto vs. VAF

Elaborado por: Moreno L, 2023

La Tabla 4.3 nos muestra un resumen de los resultados, cumpliendo en su totalidad con los requerimientos de normas y especificaciones MOP – 001 – F – 2002.

Los datos obtenidos con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico son:

Tabla 4.3: Resultados de mezcla asfáltica

	Obtenida	Uni	Solicitada	Estado
Densidad Bulk	2.212	(g/cm ³)		
Estabilidad	3210	(Lb)	> 2200	Cumple
Flujo	12.2	(0.01")	8 – 13	Cumple
Va	4	(%)	3 – 5	Cumple
VAM	13.1	(%)	> 13	Cumple
VAF	70	(%)	65 – 75	Cumple

Elaborado por: Moreno L, 2023

Podemos concluir que la mezcla diseñada cumple con los requerimientos así que es una alternativa viable para proseguir con el análisis.

4.3.2. Calificación de geomalla fibra de vidrio

Para obtener la calificación la Geomalla fue sometido al ensayo ASTM D 6637, en el laboratorio de resistencia de materiales de la PUCE, por normativa se debe testear 3 muestras mínimo, por lo tanto, se realizó dos pruebas en sentido longitudinal y una en sentido trasversal, dando como resultado:

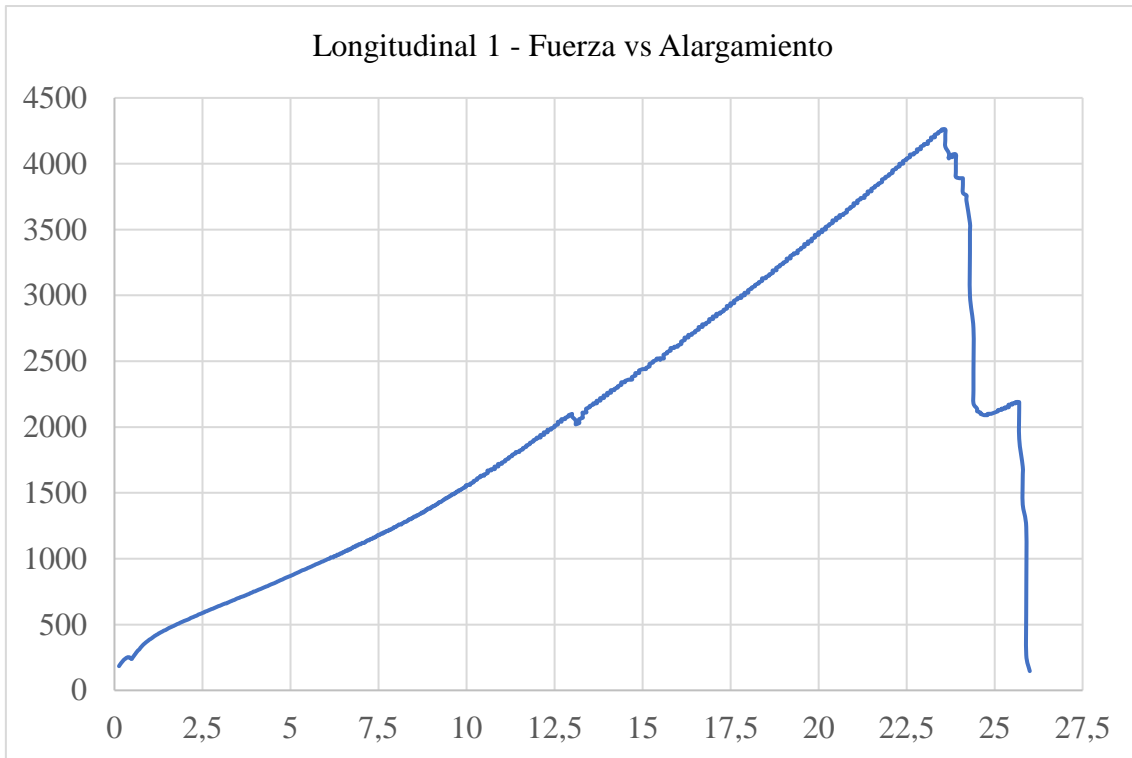


Figura 4.7: Resultado ensayo ASTM D 6637 muestra longitudinal 1

Elaborado por: Moreno L, 2023

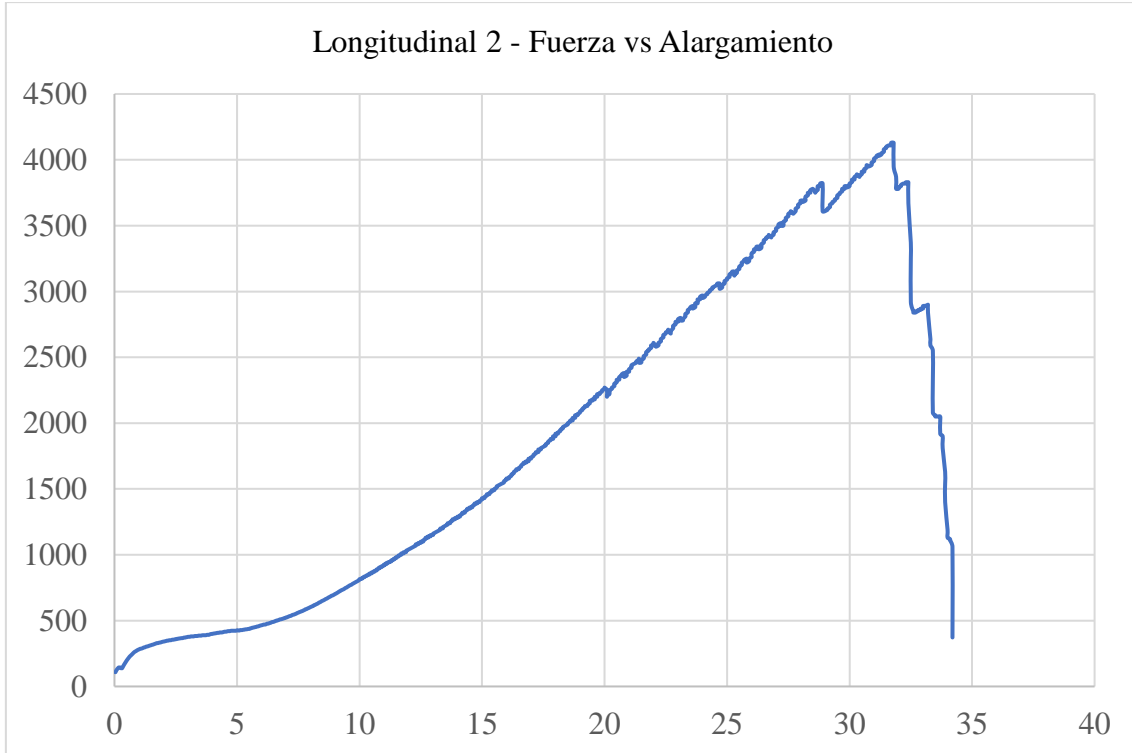


Figura 4.8: Resultado ensayo ASTM D 6637 muestra longitudinal 2

Elaborado por: Moreno L, 2023

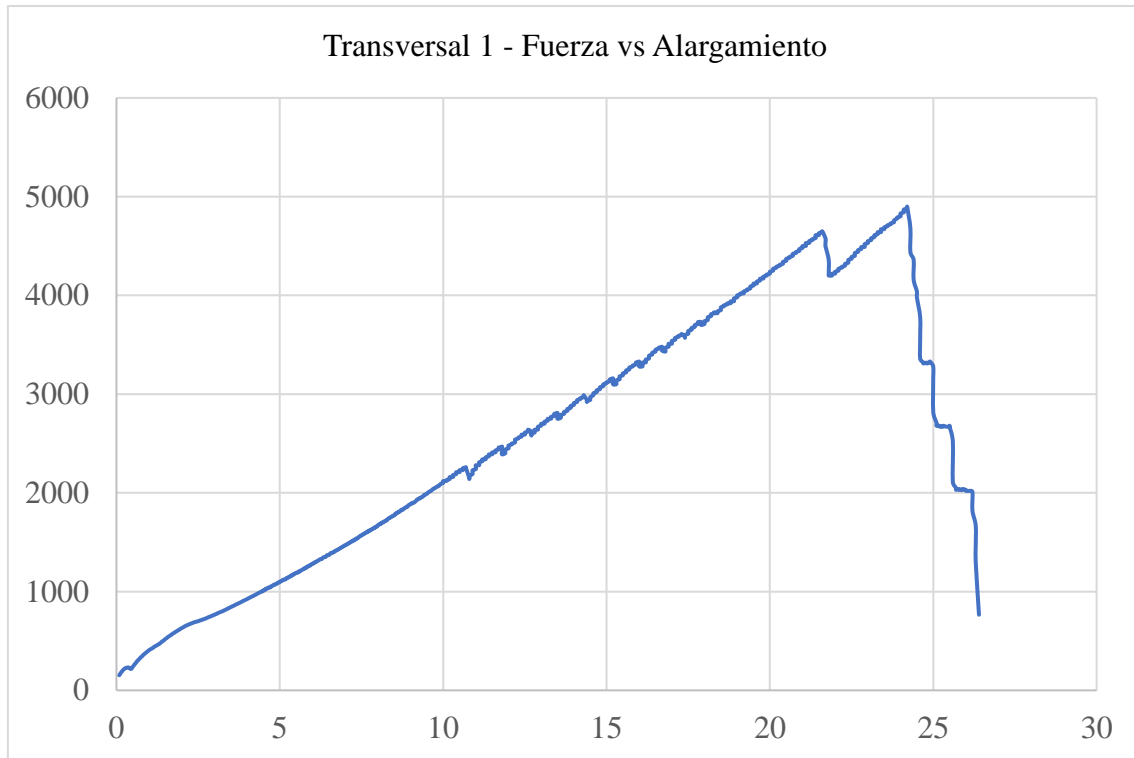


Figura 4.9: Resultado ensayo ASTM D 6637 muestra transversal 1

Elaborado por: Moreno L, 2023

De la Figura 4.7, Figura 4.8 y Figura 4.9 se obtuvo el valor de la fuerza máxima para posteriormente obtener la fuerza equivalente por unidad de longitud bajo la norma ASTM D 6637, dando como resultado los valores de la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Resultados de fuerza equivalente por unidad de longitud

Sentido	Long	Long	Trans
Muestra	1	2	1
Ancho Rollo	3,95 m	3,95 m	3,95 m
# costillas ensayadas	3	3	3
Abertura longitudinal	21,33 mm	21,33 mm	21,33 mm
Abertura transversal	17,18 mm	17,18 mm	17,18 mm
Carga Máxima	4.262,87 N	4.127,64 N	4.901,98 N
Fp	4,26 kN	4,13 kN	4,90 kN
Nr	122	122	122
Nt	32,5	32,5	33
d	3,75 m	3,75 m	3,75 m
af	46 kN/m	45 kN/m	53 kN/m

Elaborado por: Moreno L, 2023

4.4. Ensayos: Prueba de carga cíclica

4.4.1. Preparación de probetas

La elaboración de las vigas a ensayarse fue mediante un molde de medidas: Largo 35cm, ancho 15cm y altura 20cm, 5cm más alto que el espécimen para poder tener facilidad de trabajo al momento de compactar la mezcla, para la compactación se utilizó un método experimental, que consiste en adaptar un pisón rectangular a un demoledor marca DeWalt de 2200W – 1800RPM de 14 kgf.

Con el objetivo de generar un sistema de compactación efectivo, ya que la mezcla asfáltica debe mantener una temperatura controlada y de esta manera obtener una mezcla homogénea, para lograrlo se elaboró un pisón de placa rectangular que se adapta al molde, esto ayudo a mantener una compactación uniforme a lo largo de toda la viga y obtener las medidas de análisis requeridas, las cuales son: 6cm para la capa inferior denominada como (mezcla antigua), a esta primera capa se le indujo un plano de falla en la zona media ($L/2$) de la viga ensayada, cortándola con una sierra de mesa con una abertura aproximadamente de 5mm, posteriormente se decidió someterla a un envejecimiento por temperatura a 45°C por un periodo de 48 horas en un horno; cabe recalcar que todas las vigas de mezcla antigua tienen las mismas condiciones. Para la capa superior (mezcla nueva) con espesor de 9cm de mezcla asfáltica, esta al ser una simulación de una repavimentación o recapeo la mezcla nueva no se la sometió a ningún envejecimiento. Entre ambas capas para su unión se utilizó riego de liga RC-250 proporcionado por la empresa que lo elabora Constructores Naranjo López, para la presente tesis se decidió realizar un análisis comparativo entre 3 vigas distintas las que se denominaron: A1, B1 y C1.

4.4.2. Procedimiento de ensayo

Tras la elaboración de las tres vigas bajo las mismas condiciones de diseño y compactación, sin embargo, presentan distintas configuraciones como:

- **La viga A1 (viga patrón):** Siendo el punto de partida, con esta viga se desea representar lo que comúnmente se hace en una intervención de repavimentación, consiste básicamente en añadir una capa extra de mezcla asfáltica para poder alcanzar la vida útil de la infraestructura, este método funciona de cierta manera tal que retarda el efecto de recalco de grietas por reflexión.

- **La viga B1:** Es la viga que entre capas tiene un sistema de refuerzo implementado, una geomalla de fibra de vidrio que por sus propiedades mecánicas tendrá la capacidad de absorber y redistribuir los esfuerzos a tensión que se generan por el paso repetitivo del tráfico.

La geomalla para este análisis fue sometida al ensayo ASTM D 6637 “Resistencia a la tracción y Elongación a la rotura de Geomallas (Método de Múltiples Costillas), para poder así calificarla y tener pleno conocimiento de las propiedades que caracterizan a esta geomalla.

- **La viga C1:** Es una viga comparativa equivalente se la fabrico de tal manera que incorpora refuerzo de geomalla, pero a diferencia de los 9cm de recapeo se le redujo a 5cm de espesor, lo que se traduce en un 45% de reducción de mezcla asfáltica.

Para las tres vigas fue necesario realizar un modelo de análisis basado en indicadores adaptados al software de la maquina a utilizarse, que nos representen condiciones cercanas a las reales, para lo cual se decidió utilizar la maquina universal de ensayos para mezclas asfálticas marca Cooper HYD25, la cual nos permite hacer los ensayos a frecuencias controladas, con carga aplicada, adaptando distinta forma de onda al momento de aplicar la carga, según Marco Pardo (2013) “la frecuencia de 0,2 Hz. (5 segundos), corresponde a un vehículo que lleva una velocidad aproximada de 20 Km/hr”, por lo que se decidió empezar los ensayos con esta frecuencia con carga variable que empieza desde los 6kN, la carga es transmitida por un pistón por encima de unas placas de acero ubicadas en el centro de la viga perpendicular al plano de falla de la grieta inducida, para lograr inducir esfuerzo concentrado por debajo de grieta se pone una barra de 3/4” de diámetro simulando con esto un apoyo simple, a los extremos de la viga se ubicaron unos apoyos de caucho para simular el soporte de las capas subyacentes a la carpeta asfáltica, con este modelo se desea que el ensayo simule fatiga a las vigas por medio de ciclos de carga y descarga, como primera fase del ensayo se decidió fatigar las vigas a temperatura ambiente 20°C con los siguientes ciclos de carga.

Para esta primera fase de fatiga como se muestra en la Tabla 4.5, se completaron un total de 1350 ciclos de carga para cada una de las vigas, se les indujo un máximo de 18 KN o 1 835,49 kgf de carga a una frecuencia constante de 0.2 Hz (5segundos), en un ensayo de carga cíclica.

Tabla 4.5: Primera fase de ensayos para vigas: A1 - B1 - C1

Fase	Espécimen	Carga (KN)	Frecuencia (Hz)	# de Ciclos
1	A1	6	0.2	200
		8	0.2	200
		10	0.2	100
		12	0.2	100
		14	0.2	100
		16	0.2	100
		18	0.2	250
		17	0.2	150
		18	0.2	150
1	B1	6	0.2	200
		8	0.2	200
		10	0.2	100
		12	0.2	100
		14	0.2	100
		16	0.2	100
		18	0.2	250
		17	0.2	150
		18	0.2	150
1	C1	6	0.2	200
		8	0.2	200
		10	0.2	100
		12	0.2	100
		14	0.2	100
		16	0.2	100
		18	0.2	250
		17	0.2	150
		18	0.2	150

Elaborado por: Moreno L, 2023

Una vez terminada la primera fase las vigas fueron acondicionadas por 24 horas a 30°C esto con el objetivo de que las vigas experimenten cambios de temperatura, así como sucede en casos reales por consecuencias del intemperismo a las que están sometidas, después del lapso las vigas fueron sometidas a nuevos ciclos de carga cíclica a frecuencias y carga variable.

En la Tabla 4.6, se puede apreciar que las vigas A1 y B1 fueron ensayadas hasta su ruptura, para poder de esta manera conocer y analizar el aporte que le genera la geomalla como refuerzo a la carpeta asfáltica para mitigar fisuras por reflexión, la viga C1 no se la llevo a ruptura ya que con ella se quería verificar si sería capaz de soportar el mismo número de ciclos que la viga patrón con un espesor menor de carpeta asfáltica, mostrando una eficiencia en la utilización de los materiales.

Tabla 4.6: Segunda fase de ensayos para vigas: A1 - B1 - C1

Fase	Espécimen	Carga (KN)	Frecuencia (Hz)	# de Ciclos
2	A1	10	0.4	150
		12	0.4	150
		14	0.4	150
		16	0.4	150
3		12	0.5	14
2	B1	10	0.4	150
		12	0.4	150
		14	0.4	150
		16	0.4	150
3	B1	12	0.3	150
		14	0.3	150
		16	0.3	150
		18	0.3	150
4	B1	12	0.4	150
		14	0.4	150
		16	0.4	150
		18	0.4	150
5	B1	12	0.4	150
		14	0.5	150
		16	0.4	150
		18	0.5	150
6		18	0.5	20
2	C1	10	0.4	150
		12	0.4	150
		14	0.4	150
		16	0.4	150
3		12	0.5	150

Elaborado por: Moreno L, 2023

4.5. Resultados

Para el siguiente análisis se realizó un ensayo empírico partiendo del ensayo de módulo dinámico, ya que es el que mejor se adapta a la simulación por fatiga en las vigas al entregar valores en función de la rigidez, se entiende, que al momento de aplicar un material de refuerzo lo que se logra es aumentar el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica, es decir aumentar la capacidad para soportar mayores ciclos de carga.

4.5.1. Frecuencia

Gracias a la máquina que se utilizó para el ensayo, se pudo mantener frecuencias constantes aplicando distintas configuraciones de carga, en las siguientes graficas se muestra la frecuencia vs ciclos de carga para cada una de las vigas.

La viga A1 fue sometida a 3 frecuencias distintas empezando a 0.2 Hz (5 segundos) en la primera fase de ensayo, después se aumentó a 0.4 Hz (2.5 segundos) en la segunda fase de ensayo y se aumentó a 0.5 Hz (2 segundos) en la última fase, en la cual fallo a los 1964 ciclos de carga como se muestra en la Figura 4.10.

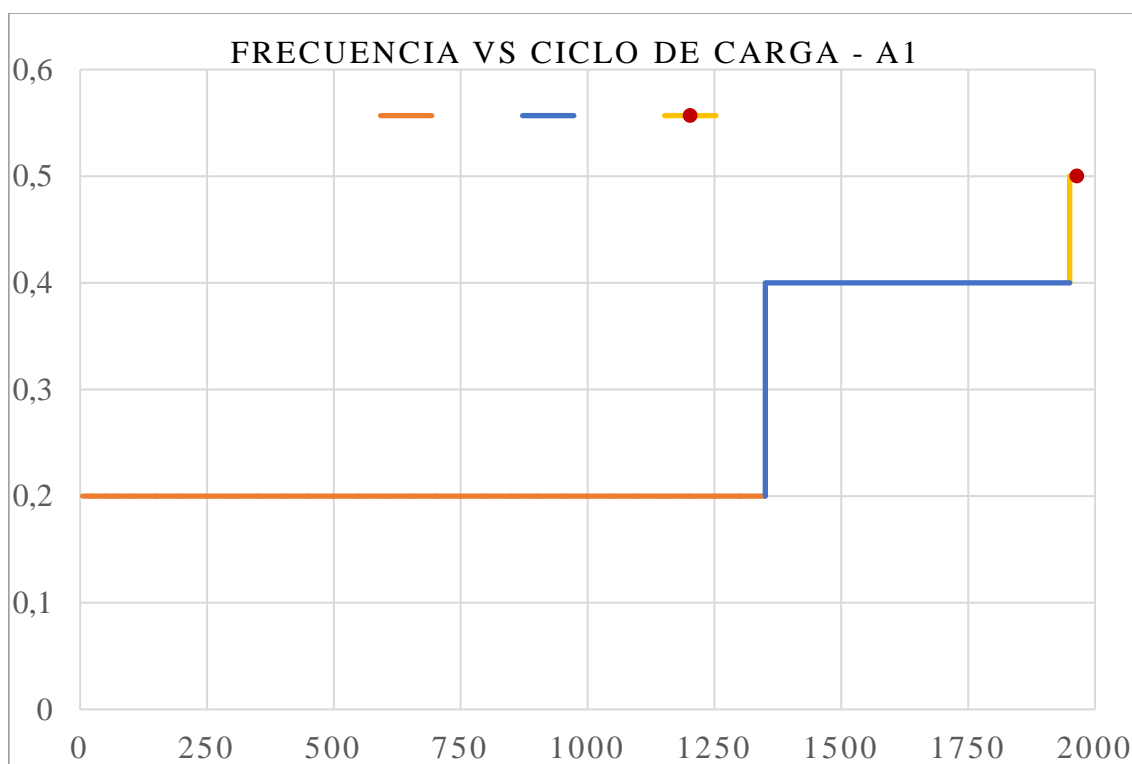


Figura 4.10: FRECUENCIA v/s. CICLOS DE CARGA (Viga A1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

Para la viga B1 con refuerzo de geomalla de fibra de vidrio se realizaron distintas configuraciones de frecuencia, al igual que la viga A1 se empezó con una frecuencia de 0.2 Hz (5 segundos) en la primera fase de ensayo, posteriormente se aumentó a 0.4 Hz (2.5 segundos) para la segunda fase de ensayo, a continuación se disminuyó la frecuencia a 0.3 Hz (3.33 segundos) para la tercera fase, en la cuarta fase se decidió aumentar nuevamente la frecuencia a 0.4 Hz (2.5 segundos), para la quinta fase se utilizó frecuencia variable de 0.4 Hz (2.5 segundos) y 0.5 Hz (2 segundos) y para la última fase se empezó con una frecuencia de 0.5 Hz (2 segundos) llegando en esta fase a la falla a los 3770 ciclos de carga y descarga como se muestra en la Figura 4.11.

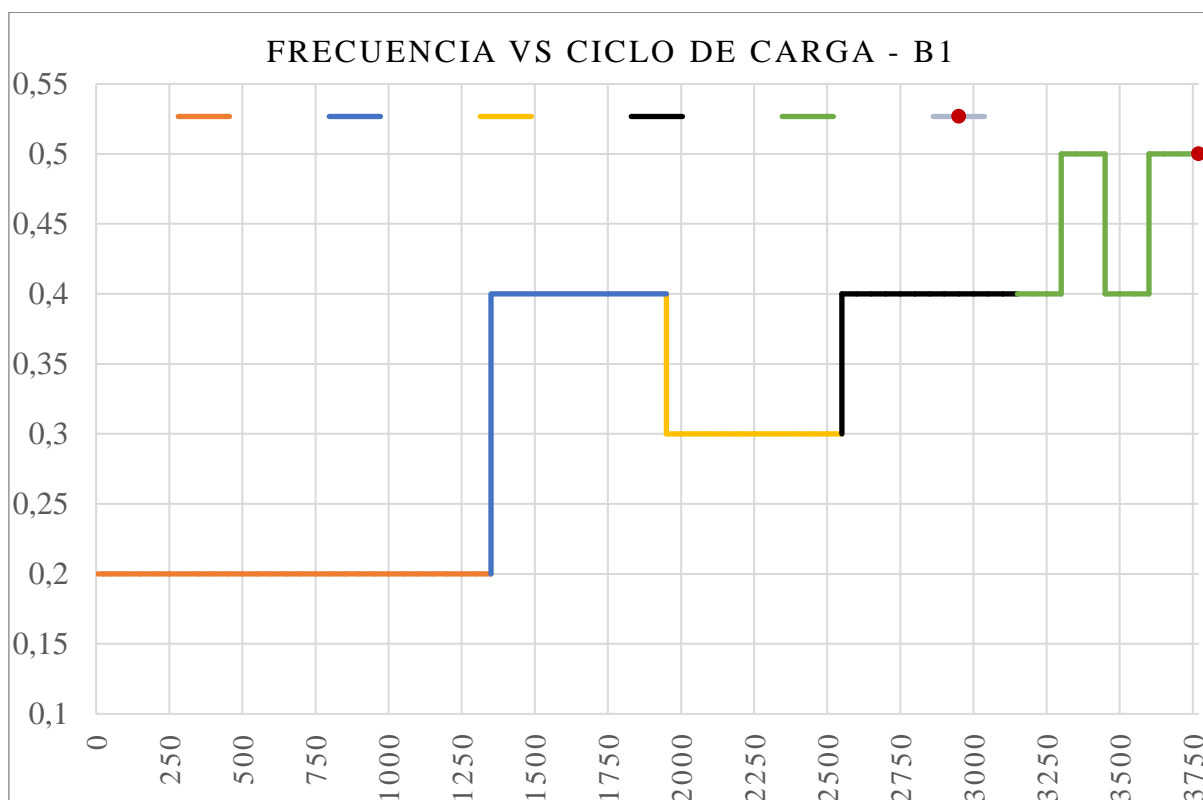


Figura 4.11: FRECUENCIA v/s. CICLOS DE CARGA (Viga B1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

En la Viga C1 con refuerzo de geomalla, pero de menor espesor, se realizó el mismo proceso que la viga A1 empezando con una primera fase a 0.2 Hz (5 segundos), posteriormente una segunda fase a 0.4 Hz (2.5 segundos) y terminando con 0.5 Hz (2 segundos) para la tercera fase, esta viga alcanzó 2100 ciclos de carga sin llegar a fallar como se muestra en la Figura 4.12.

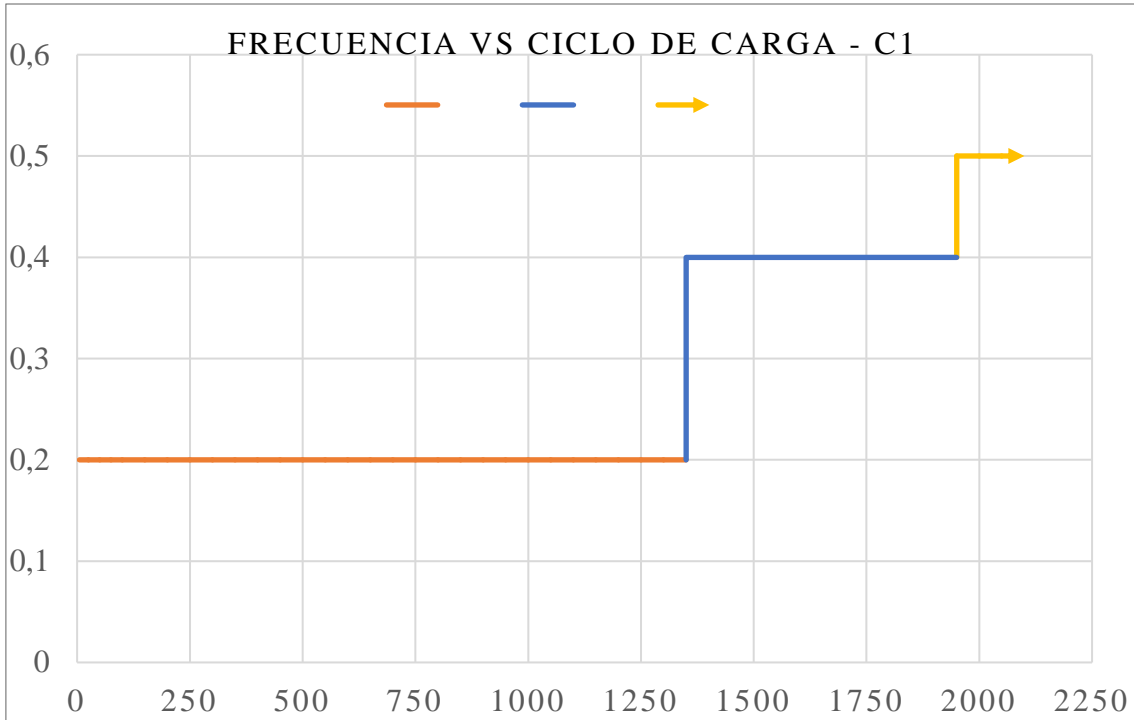


Figura 4.12: FRECUENCIA v/s. CICLOS DE CARGA (Viga C1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

La Figura 4.13, nos indica la variación de la frecuencia en cada estado de carga para la viga A1, comenzando en 6kN y llegando a 18kN.

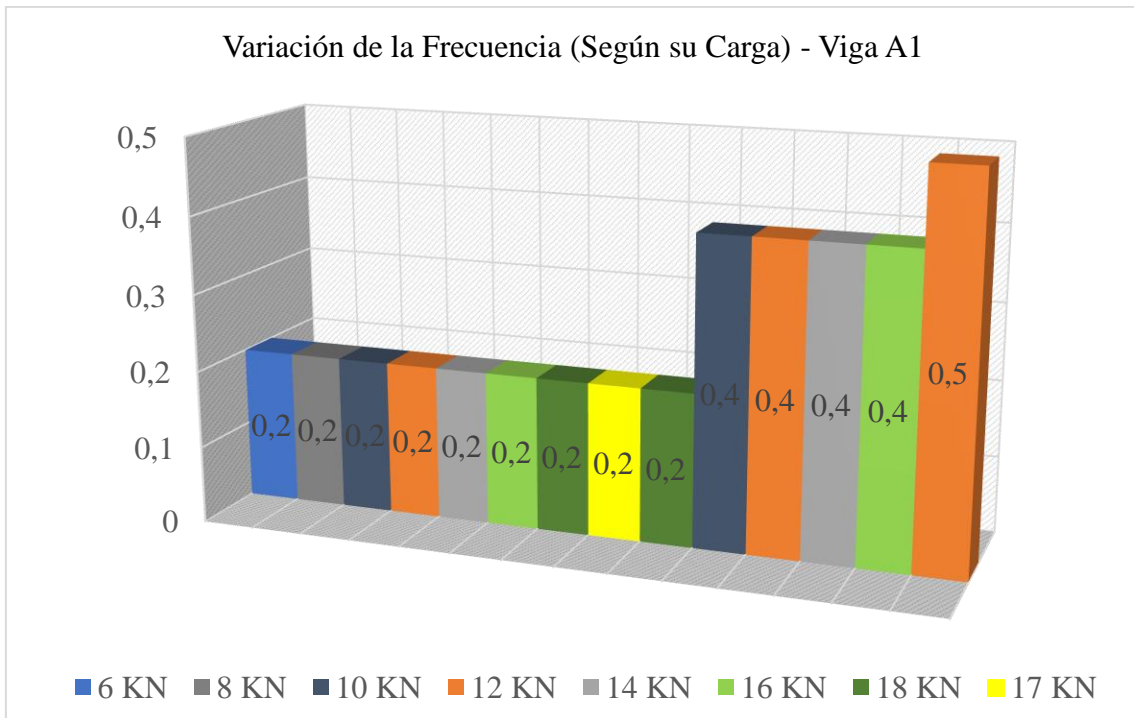


Figura 4.13: Variación de Frecuencia - Viga A1

Elaborado por: Moreno L, 2023

La Figura 4.14, nos indica la variación de la frecuencia en cada estado de carga para la viga B1, comenzando en 6kN y llegando a 18kN.

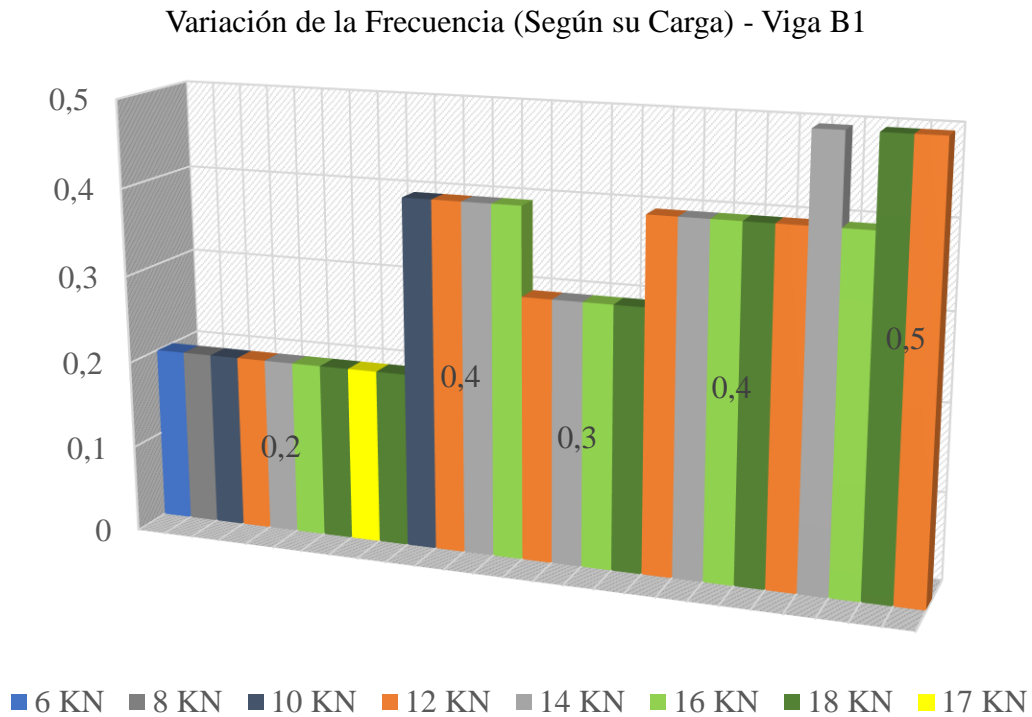


Figura 4.14: Variación de Frecuencia - Viga B1

Elaborado por: Moreno L, 2023

La Figura 4.15, nos indica la variación de la frecuencia en cada estado de carga para la viga C1, comenzando en 6kN y llegando a 18kN.

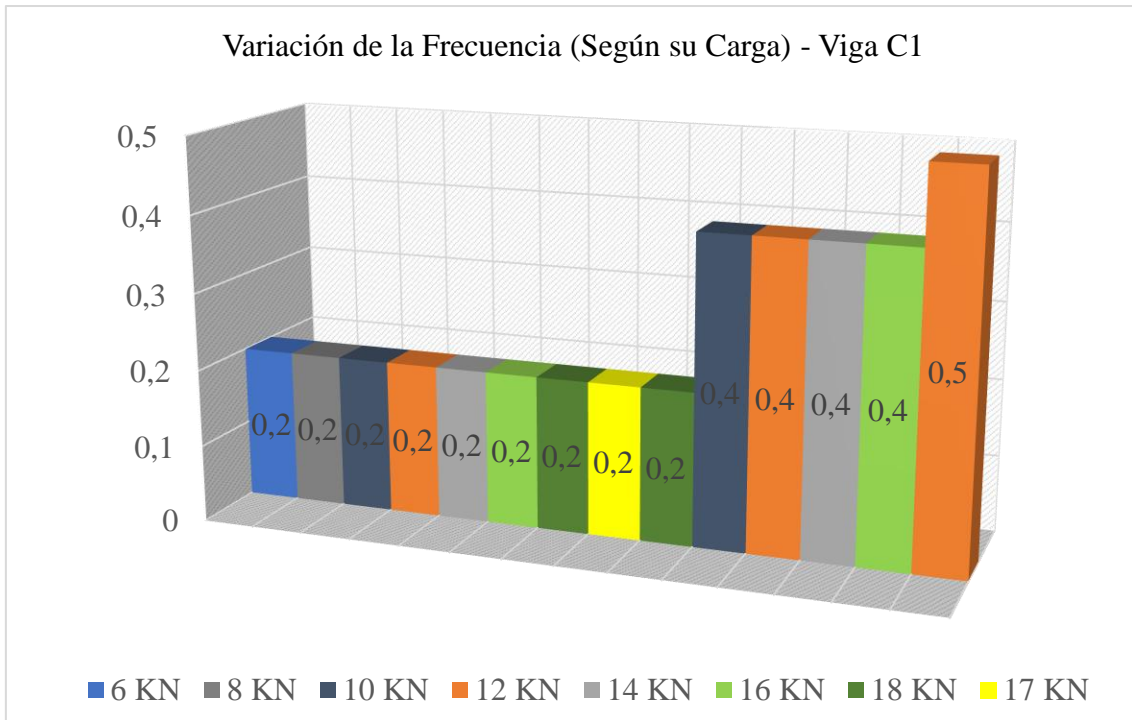


Figura 4.15: Variación de Frecuencia - Viga C1

Elaborado por: Moreno L, 2023

Cabe mencionar que, si las cargas son muy altas y se las aplica en periodos muy cortos, las cargas cíclicas que queremos recrear se transformarían en cargas de impacto, para lo cual la determinación y elección entre cargas de impacto y cargas cíclicas se realizaron a criterio del tesista y del laboratorista responsable de los ensayos.

4.5.2. Variación de carga

Para los ensayos de carga cíclica para simular fatiga se decidió empezar con una carga de $6\text{KN} \approx 600\text{ Kgf}$ y se la fue aumentando a razón de $2\text{KN} \approx 200\text{ Kgf}$ a una frecuencia constante de 0.2 Hz (5 segundos) hasta alcanzar los $18\text{KN} \approx 1800\text{ Kgf}$, después se decidió bajar a $17\text{KN} \approx 1700\text{ Kgf}$ y posteriormente volver a los 18KN esto se consideró como la primera fase, todas las vigas ensayadas fueron sometidas a las mismas condiciones en esta fase como se muestra en la Tabla 4.6.

La viga A1 alcanzó 3 fases hasta llegar a la falla como se demuestra en la Figura 4.16, cada fase fue realizada con una frecuencia distinta como se indicó en el subcapítulo anterior, de igual manera cada fase de ensayo tuvo diferentes estados de carga, tanto la primera como la segunda fase para las vigas A1, B1 y C1 fue la misma.

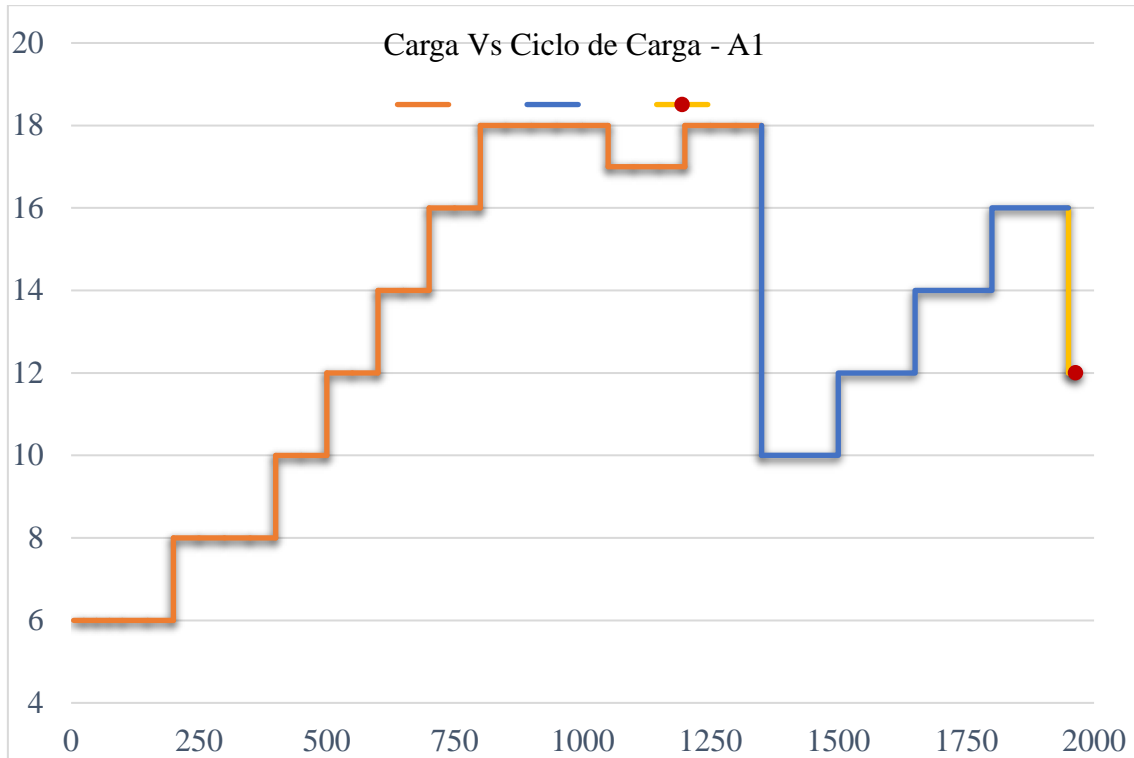


Figura 4.16: CARGA v/s. CICLOS DE CARGA – Viga A1

Elaborado por: Moreno L, 2023

Para la viga B1 al no fallar en las 3 fases como fue el caso de la viga patrón se decidió seguir experimentando con diferentes estados de carga como se muestra en la Tabla 4.7 y en la Figura 4.17, esta viga logró soportar 6 fases hasta su falla.

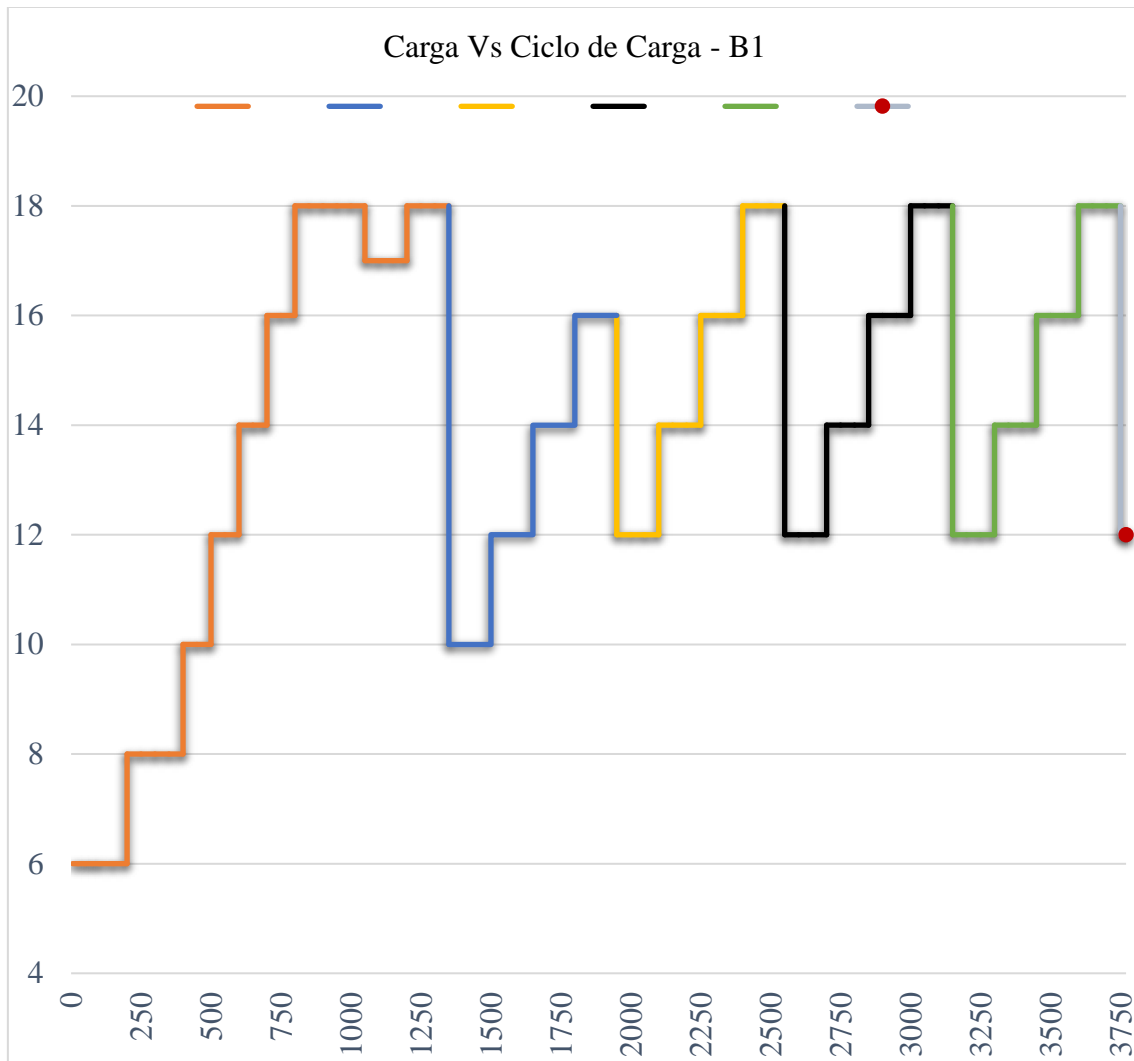


Figura 4.17: CARGA v/s. CICLOS DE CARGA – Viga B1

Elaborado por: Moreno L, 2023

La viga C1 no se la llevo a la falla ya que ese no era el objetivo con esta viga, sino compararla directamente con la viga patrón, como se indica en la Figura 4.18.

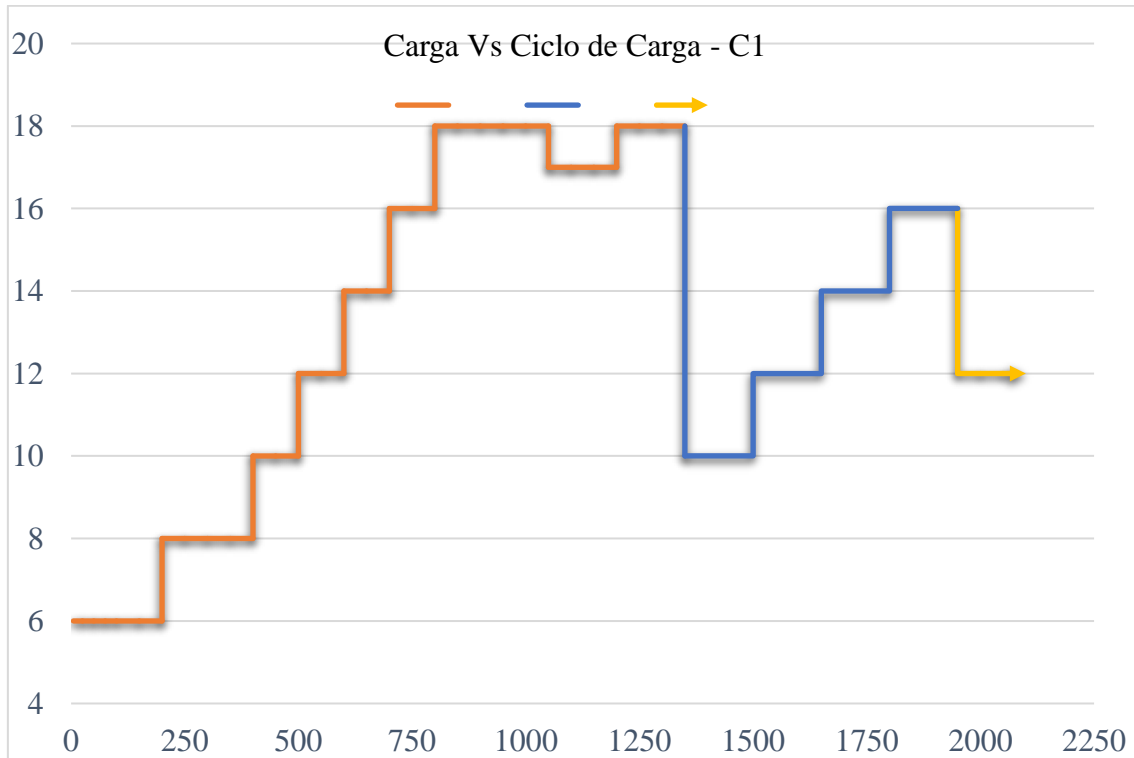


Figura 4.18: CARGA v/s. CICLOS DE CARGA – Viga C1

Elaborado por: Moreno L, 2023

4.5.3. Tiempo acumulado

Ya que con el ensayo no se pudo determinar la propagación de las grietas por fatiga como en la tesis que nos guiamos por varios motivos como realizarlo en distintas de máquinas y bajo otras condiciones, en su lugar se pudo determinar graficas distintas, por la aplicación de frecuencias constantes y medibles. Los resultados que la maquina entrega para cada fase de análisis, ayudo a determinar el Tiempo Acumulado en cada una de las vigas y poder así asociar con los demás parámetros de ensayo como el periodo (inversa de la frecuencia) y el Número de Ciclos como se muestran en la Figura 4.19 para la viga A1, la Figura 4.21 para la viga B1 y la Figura 4.23 para la viga C1.

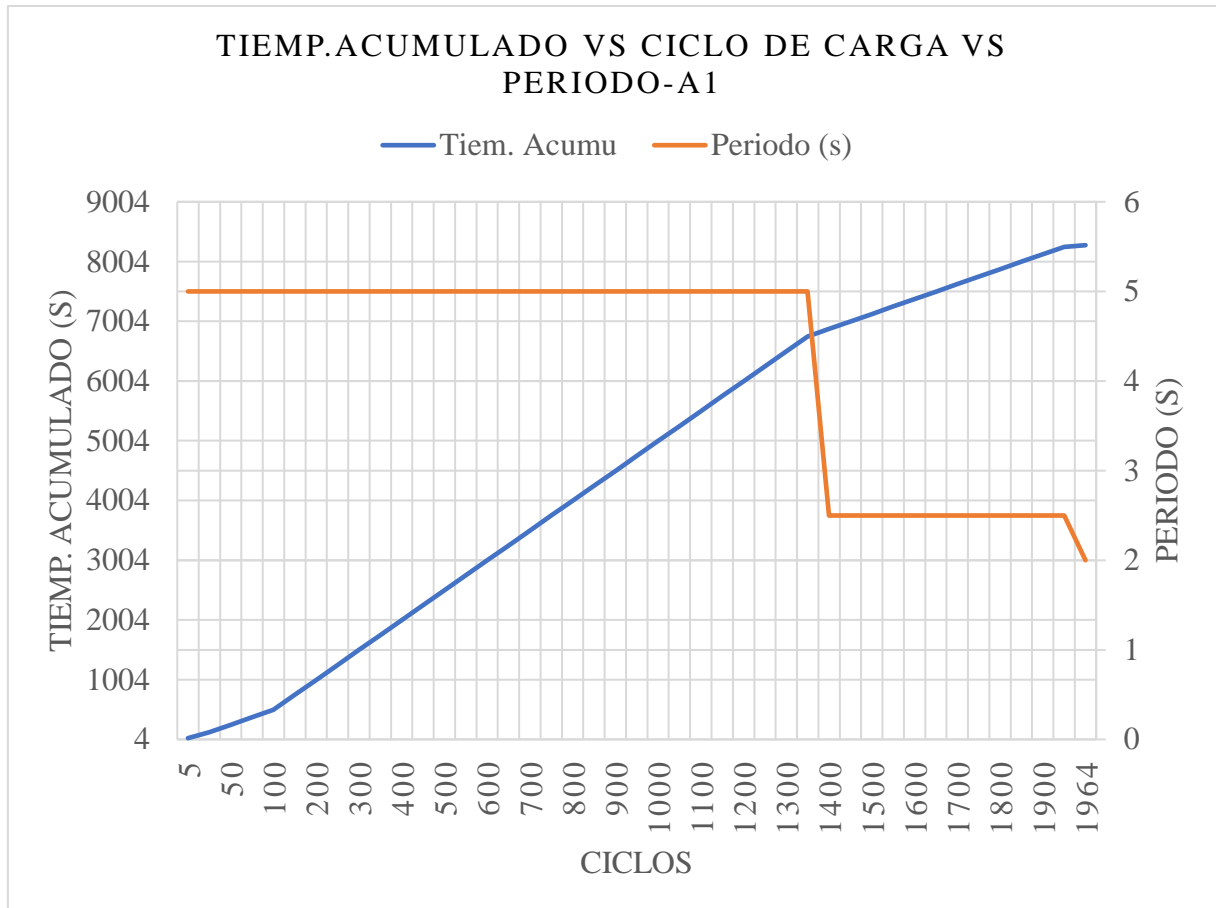


Figura 4.19: T. ACUMULADO v/s. CICLOS v/s. PERIODO (A1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

Se puede observar que la viga A1 resistió 8,278 segundos durante los 1,964 ciclos de carga hasta que la grieta se propagó completamente hacia la superficie.

También se pudo asociar el Tiempo Acumulado /vs los Estados de Carga /vs Número de Ciclos teniendo como resultado de las Figuras 4.20 para la Viga A1, Figura 4.22 para la viga B1 y la Figura 4.24 para la Viga C1.

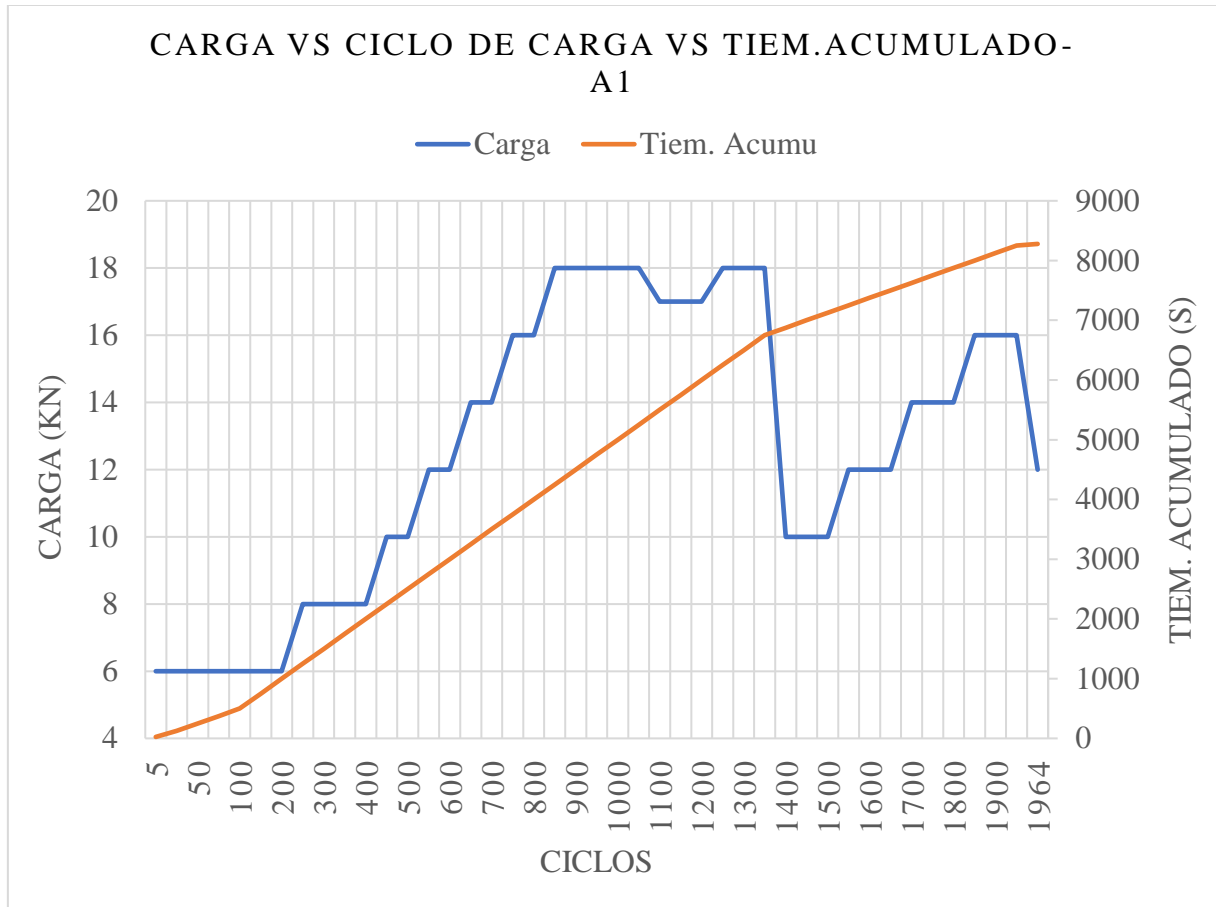


Figura 4.20: CARGA v/s. CICLOS v/s. T. ACUMULADO (A1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

La viga A1 revela que no pudo soportar tantos ciclos de carga en comparación con los estados de carga que enfrentó la viga B1. Esto indica que experimentó fatiga prematura, tal como ocurre en situaciones a escala real.

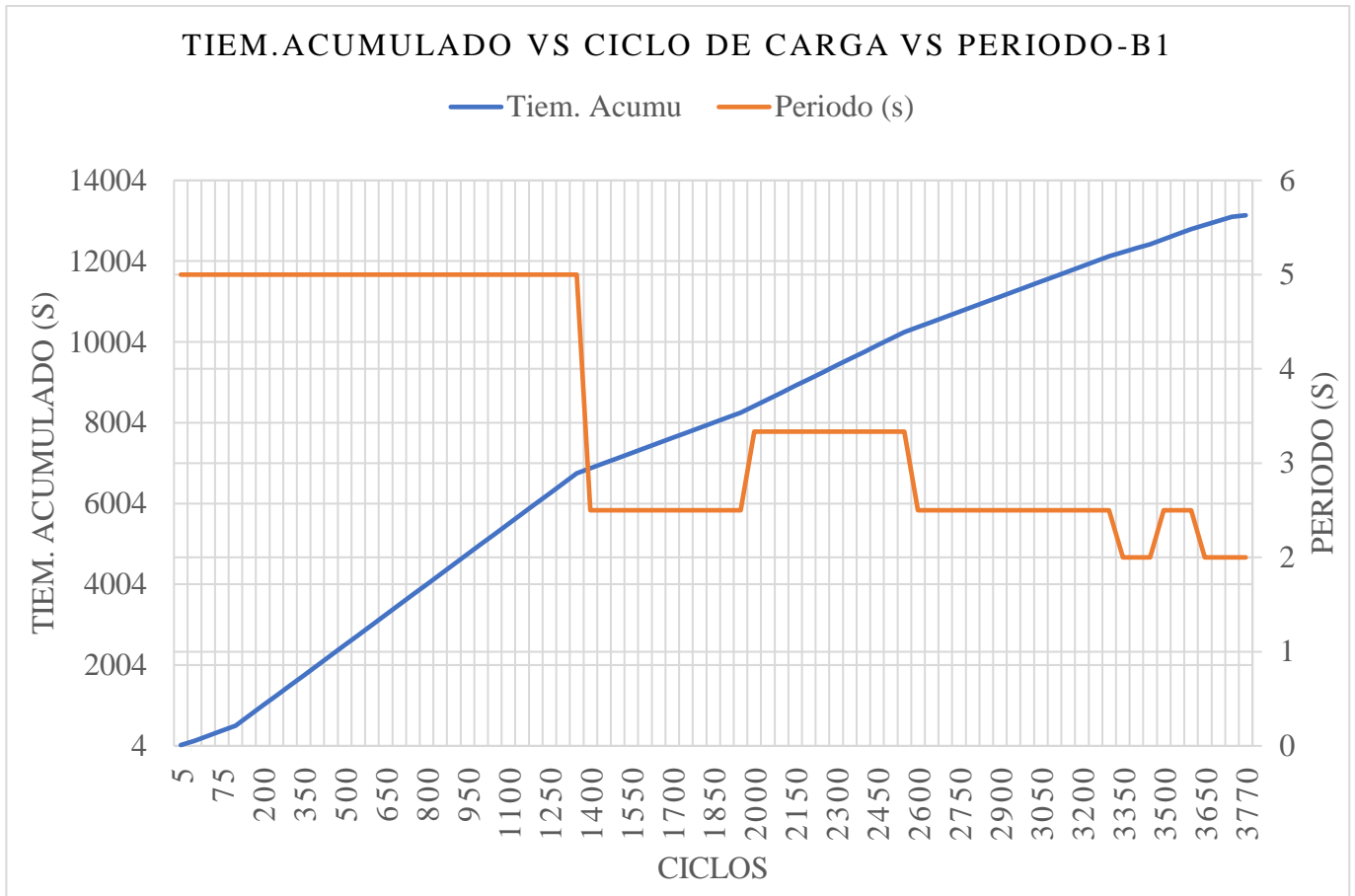


Figura 4.21: T. ACUMULADO v/s. CICLOS v/s. PERIODO (B1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

En cambio, los resultados obtenidos para la viga B1 son muy favorables, ya que resistió 13,140 segundos durante los 3,770 ciclos de carga hasta que la grieta se propagó completamente hasta la superficie.

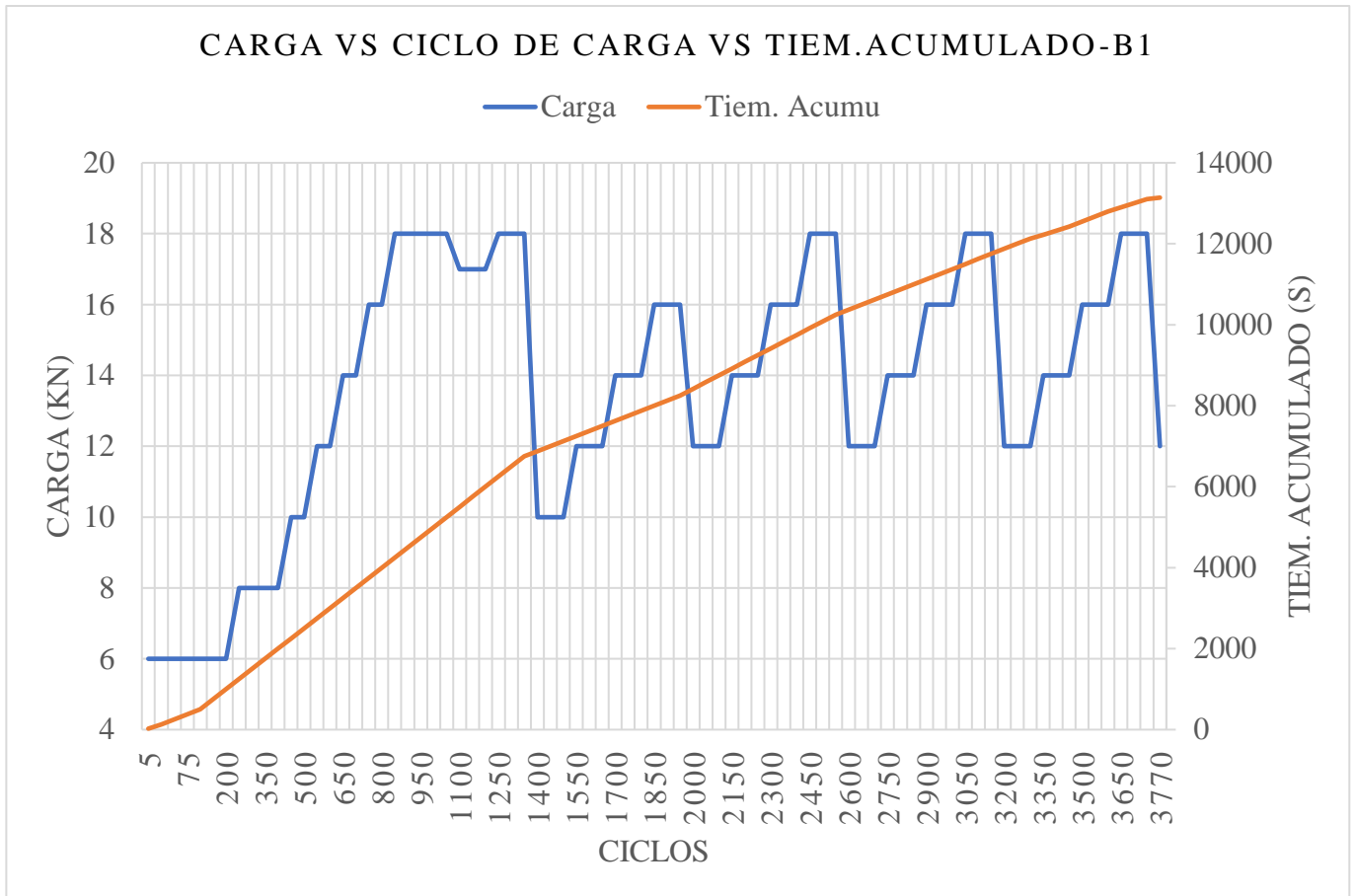


Figura 4.22: CARGA v/s. CICLOS v/s. T. ACUMULADO (B1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

Se puede notar claramente que la viga B1 resistió notablemente más ciclos de carga con una mayor variabilidad, lo que indica que fue sometida a una fatiga mucho mayor. Esto demuestra de manera concluyente que la geomalla de fibra de vidrio es un elemento válido.

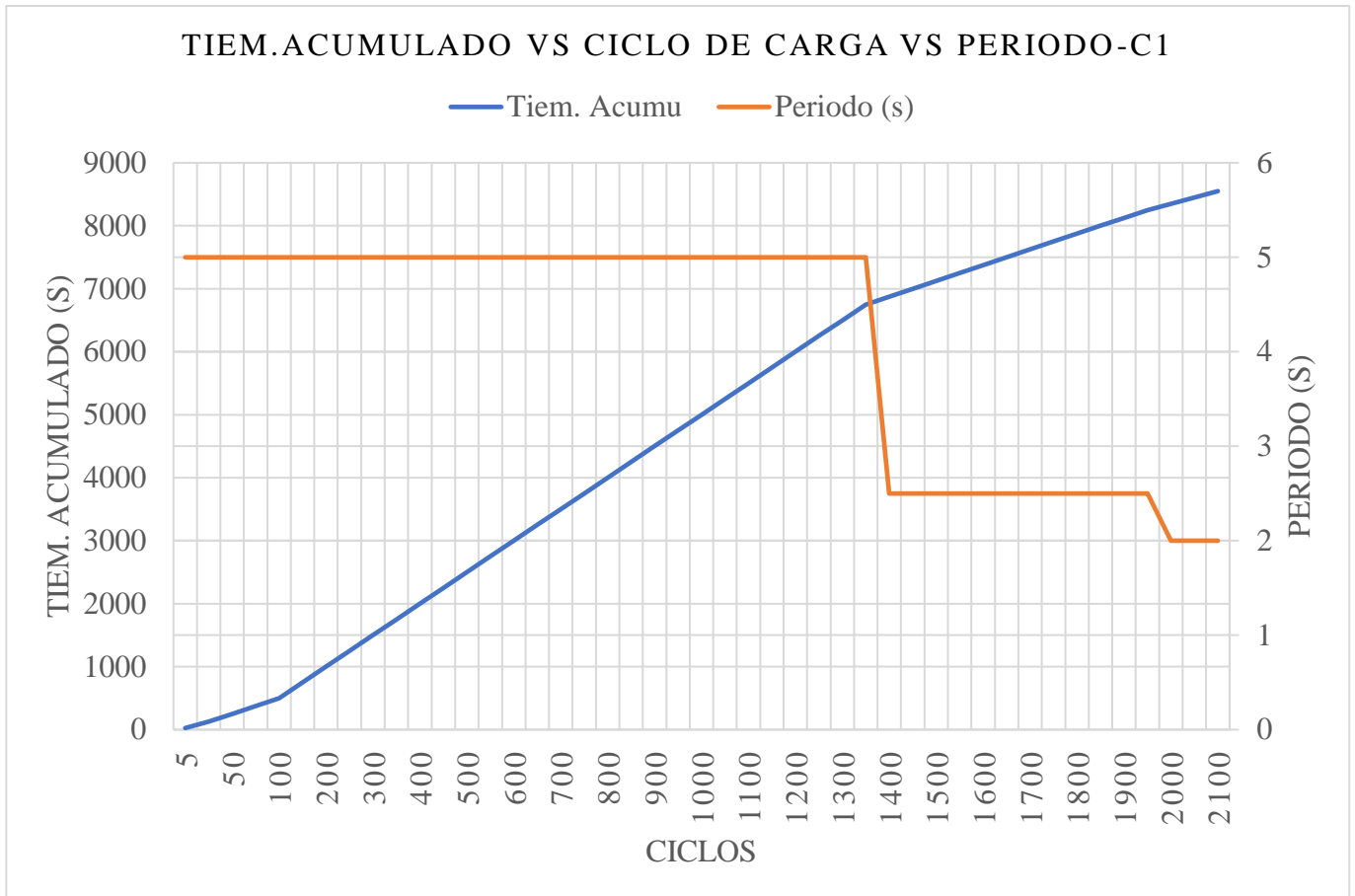


Figura 4.23: T. ACUMULADO v/s. CICLOS v/s. PERIODO (C1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

Se puede apreciar que la viga C1 logró resistir 8,550 segundos durante los 2,100 ciclos de carga sin que la grieta se propagara hacia la superficie. Es importante destacar que esta viga no presentó ninguna grieta notable o visible.

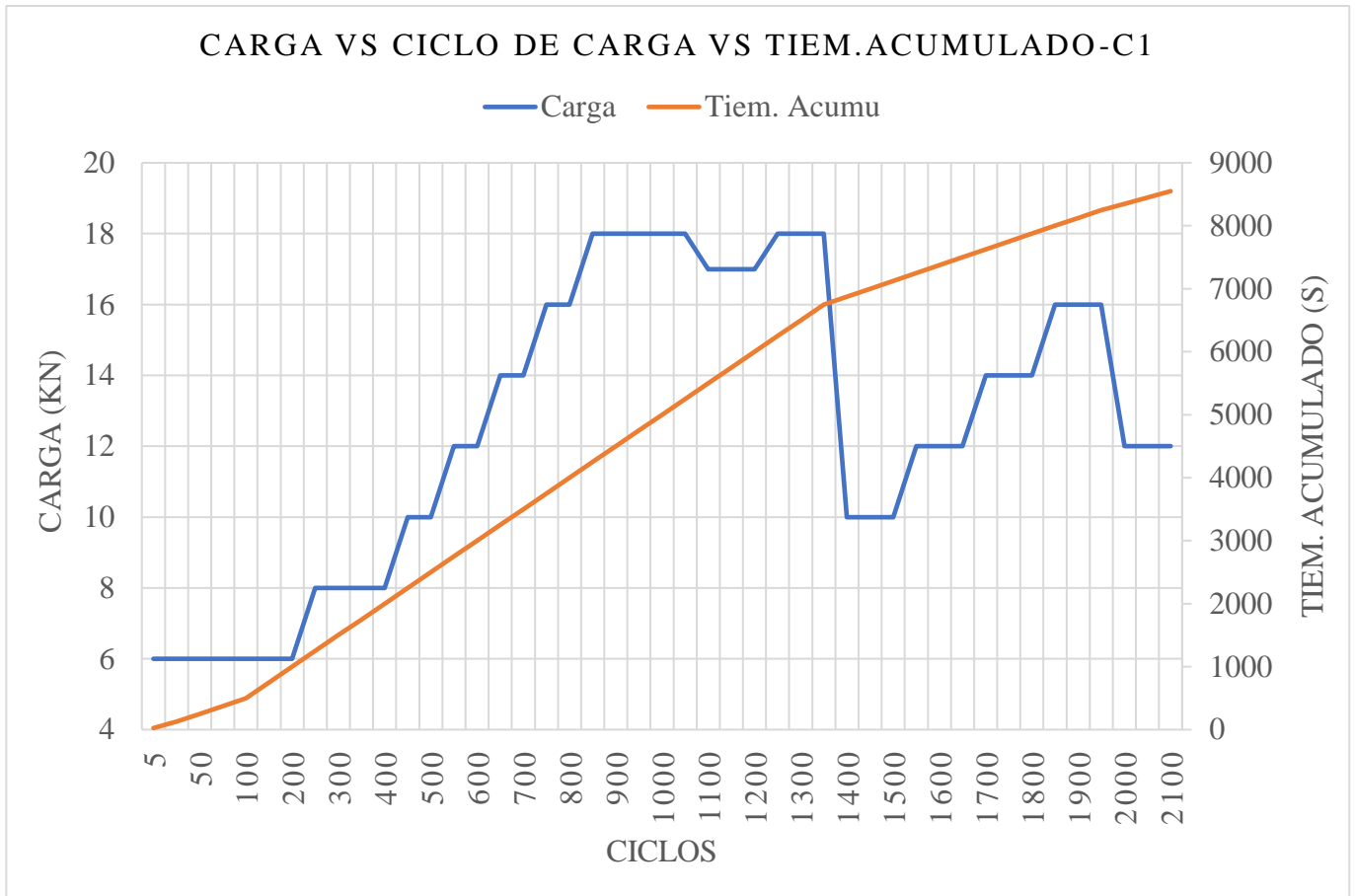


Figura 4.24: CARGA v/s. CICLOS v/s. T. ACUMULADO (C1)

Elaborado por: Moreno L, 2023

La viga C1 demuestra que no tuvo problemas para soportar tantos ciclos de carga como los que enfrentó la viga A1. Esto nos indica que se presenta como una alternativa eficiente y factible.

Capítulo V

COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En función de los análisis y estudios realizados se puede concluir que:

- La geomalla de fibra de vidrio gracias a sus características mecánicas es un elemento que retarda la aparición de fisuras al absorber los esfuerzos de tensión de la mezcla asfáltica generando eficiencia en la misma ayudando a soportar las cargas generadas por el tráfico, el cambio de temperatura, la rigidización del material entre otros fenómenos a lo que está sometida la estructura a lo largo de su vida útil esto se logra al distribuir los esfuerzos de una manera más uniforme a lo largo de su plano. Al añadir un material de refuerzo, no solo se obtienen mejoras en cuanto a la resistencia del material, sino que también se genera un impacto ambiental positivo. Con este método, se puede disminuir el espesor de capas de materiales pétreos no renovables, a su vez se minimizan sus respectivos traslados y se alargan los periodos de mantenimiento periódico, logrando así obras rentables, sustentables y amigables con el medio ambiente.
- Si bien es cierto que este método está principalmente dirigido a estructuras de pavimentos flexibles, también es posible implementar geosintéticos en estructuras de pavimentos rígidos, semirrígidos y articulados. El uso de geosintéticos en estos tipos de pavimentos puede ofrecer beneficios adicionales, como el control de fisuras, la reducción de la reflexión de grietas y la mejora de la durabilidad global del pavimento. Por lo tanto, la aplicación de geosintéticos no se limita únicamente a pavimentos flexibles, sino que se puede adaptar a diferentes tipos de estructuras de pavimento.
- Los geosintéticos son materiales de construcción diseñados específicamente para mejorar las propiedades de los suelos con los que entran en contacto. Estos materiales pueden beneficiar tanto las características mecánicas como hidráulicas, dependiendo de la función que desempeñen. Los geosintéticos pueden desempeñar diferentes funciones como: separación, filtración, drenaje, contención y refuerzo. En función de la necesidad específica, se selecciona el tipo adecuado de geosintético para lograr el mejor resultado.
- La geomalla de fibra de vidrio utilizada en el análisis demostró poseer características satisfactorias, lo cual condujo a una mejora en las propiedades de

la estructura del pavimento flexible. Esto se evidencia en la fuerza equivalente por unidad de longitud promedio de 48 kN/m, como se muestra en la Tabla 4.4, en el subcapítulo 4.3.2. Calificación de geomalla fibra de vidrio.

- Las vigas B1 y C1 resultaron ser más eficientes que la viga patrón A1, pudiendo concluir lo siguiente: La viga B1 alcanzó una efectividad del 192% en comparación con los ciclos de carga de A1, mientras que la viga C1 alcanzó una efectividad del 106%, siendo importante destacar que esta última no llegó a experimentar falla, esto se puede observar en el subcapítulo 4.5.1. Frecuencia.
- Además, si comparamos en términos de Tiempo Acumulado, la viga B1 alcanzó una eficiencia del 158.7% en comparación con la viga A1, mientras que la viga C1 logró una eficiencia del 103.3%, esto se puede observar en el subcapítulo 4.5.3. Tiempo acumulado.
- En cuanto a la carga acumulada necesaria para que la viga B1 fallara en comparación con la viga patrón A1, se registró un valor del 199.8%. Por otro lado, la viga C1 obtuvo un valor de 104.4%, podemos apreciarlo en el subcapítulo 4.5.2. Variación de carga.
- Una vez que el refuerzo falla, la viga experimenta una rotura abrupta, ya que pierde su capacidad para soportar los esfuerzos de tensión, esto se puede apreciar en los ANEXOS donde se adjunta las ilustraciones antes, durante y después del ensayo.
- La viga C1 no mostró ninguna falla durante las condiciones del ensayo. Es importante destacar que la viga C1 fue un caso especial, ya que permitió reducir el espesor de la capa de repavimentación (capa nueva) en un 33%. Esta reducción tiene un impacto ambiental positivo, ya que se disminuyen los recursos no renovables utilizados en la fabricación de mezclas asfálticas.
- Si bien es cierto que el método inventado para la compactación de las vigas no reproduce exactamente el proceso de compactación realizado por un rodillo compactador, se determinó que fue un método efectivo. Se logró compactar la mezcla asfáltica a la temperatura adecuada, obteniendo así una densidad adecuada, las herramientas utilizadas y necesarias se puede apreciar en los ANEXOS.
- En el caso de las vigas, las grietas inducidas de 5 mm no fueron selladas como se hace comúnmente en un proyecto de rehabilitación o repavimentación. Esta

decisión se tomó con el objetivo de acelerar el proceso de propagación de la grieta a lo largo de la viga, ya que al dejarla abierta se induce un plano de falla.

- La máquina Cooper HYD25 utilizada para el ensayo, tiene la capacidad de realizar diversos tipos de ensayos, aunque cabe mencionar que no está calibrada. Sus funciones pueden ser utilizadas para llevar a cabo este tipo de ensayos y así ampliar el marco de conocimiento en las investigaciones futuras del laboratorio.
- Los materiales utilizados de la planta de asfalto para la elaboración de la mezcla asfáltica fueron evaluados y calificados de acuerdo a los estándares exigidos por la MTOP – 001 - F – 2002, numeral 404-4.02, en la tabla 404-4.2 a una temperatura de 25 °C. Los resultados obtenidos demostraron que los materiales cumplen con los estándares establecidos, como se muestra en la Tabla 4.3, en el subcapítulo 4.3.1. Calificación de mezcla asfáltica.

5.2. Recomendaciones

A continuación, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Sería altamente recomendable realizar más ensayos de esta naturaleza para determinar de manera estadística los beneficios completos que los refuerzos brindan a las estructuras de pavimento. Estos ensayos deben abarcar no solo el uso de geomallas de fibra de vidrio, sino también otros sistemas conocidos, como los sistemas SAMI. Esta ampliación del estudio permitirá obtener una visión más amplia y precisa de los efectos y ventajas de diferentes métodos de refuerzo en los pavimentos.
- Se debería promover y fomentar la realización de los ensayos propuestos tanto en instituciones públicas como privadas. Dado que el proceso de fabricación y el costo de los ensayos son elevados, es comprensible que solo se hayan podido realizar tres vigas comparativas en este estudio. Sin embargo, al incentivar la participación de más instituciones, se podrían obtener más datos y resultados significativos que contribuyan al avance del conocimiento en esta área.
- Para futuros ensayos, sería apropiado considerar la implementación de deformímetros, ya que estos nos proporcionarán datos sobre las deformaciones que experimenta la mezcla debido a la acción de los ciclos de carga. Esto permitirá obtener información aún más relevante y precisa, aprovechando las capacidades de la máquina utilizada en los ensayos.

- Se recomienda analizar un modelo de ensayo utilizando briquetas o moldes cilíndricos para evaluar cómo difieren de los realizados con vigas. Esto es especialmente relevante considerando que la máquina utilizada está configurada de fábrica para proporcionar datos basados en elementos cilíndricos, lo cual no fue aprovechado en la obtención de datos de esfuerzos. Realizar este tipo de ensayos permitiría comparar y comprender mejor las diferencias en el comportamiento de los materiales bajo diferentes configuraciones de prueba.
- Se recomienda capacitar al personal del laboratorio, en particular al responsable de la máquina Cooper HYD25, para que tenga pleno conocimiento y sea capaz de adaptar cualquier modelo de análisis que se pueda realizar en esta máquina. Dado que la máquina cuenta con capacidad para controlar variables como temperatura, frecuencia y carga, entre otros, es altamente factible para investigaciones, experimentos y la implementación de nuevos ensayos. Esta capacitación permitirá al laboratorio ser pionero a nivel nacional en la realización de este tipo de análisis y beneficiará el desarrollo de futuras investigaciones.
- Se recomienda fortalecer la investigación de materiales geosintéticos, ya que estos elementos han demostrado numerosos beneficios y aportan un valor agregado significativo en diversos campos de la ingeniería civil, geotecnia y minería. Ampliar la investigación en este ámbito permitirá explorar aún más las posibilidades y aplicaciones de los geosintéticos, así como aprovechar su potencial en el desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles en diferentes sectores de la industria.

- **Bibliografía**

- Armijos, I. (2018). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO REFORZADO CON GEOSINTÉTICO (GEOTEXTIL NO TEJIDO) Y FIBRAS DE VIDRIO PARA UN PAVIMENTO DE PRIMER ORDEN. (*Tesis*). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí.
- Beltran, C. (2013). VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS PARA EL REFUERZO DE PAVIMENTO EN LA CARRERA 7 ESTACIÓN TRANSMILENIO MUSEO NACIONAL. (*Tesis de Especialización*). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Díaz , J., Escobar , O., & Olivo , E. (2009). *APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS Y EN OBRAS DE DRENAJE*

- PARA CARRETERAS*". El Salvador: Universidad de el Salvador. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2100/1/Aplicacion_de_los_geosint%C3%A9ticos_en_la_estructura_de_los_pavimentos_y_en_obras_de_drenaje_para_carreteras.pdf
- Gomez Vallejos, S. J. (2014). *Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau-Trujillo-La Libertad*. Trujillo .
- González , P., Osorio , E., & Caicedo , E. (2015). *Funciones y aplicaciones de los Geosintéticos*. Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de <https://docplayer.es/27226338-Funciones-y-aplicaciones-de-los-geotextiles.html>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: Mc. Graw Hill. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- INGENIERÍA GEOLÓGICASX. (12 de Febrero de 2017). *Materiales geosintéticos*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/geosinteticos/>
- International Slurry Surfacing Association. (2010). *Emulsified Asphalt Slurry Seal*. Obtenido de <https://ergonasphalt.com/storage/2366/SMR-Sample-Construction-Specification-Guideline-Slurry-Seal.pdf>
- Maravi, Y. V. (2012). *Propiedades y uso del asfalto*. Universidad peruana los Andes., Lima.
- Marchan , R. (2005). *Métodos de Rehabilitación de Pavimentos*. México: Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/09/METODOS-DE-REHABILITACION-EN-PAVIMENTOS-MARCHAN-MORENO-RUFINO-MARIO-min.pdf>
- Mineros , C. (2004). *EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES*. Universidad del Salvador.
- Ministerio de Obras Públicas y de Comunicación. (2016). *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación*. Obtenido de <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>
- Miranda, R. (2010). *Deterioro de Pavimentos. (Tesis de grado)*. Univesidad Austral de Chile, Valdivia.

- Moncayo , M., Rizo, J., Barzola , C., & Vargas , J. (2017). *La geomalla como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles*. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Monsalve, E. L., Giraldo, V. L., & Gaviria, J. M. (2012). *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Armenia: Universidad del Quindío.
- Morea, F. (2011). *Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas: Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga*.
- Pardo, M., & Canata, M. (2002). *MALLA METÁLICA PARA LA REFLEXIÓN DE GRIETAS EN RECAPADOS ASFÁLTICOS*. Chillan: Trabajo presentado en el 6° Congreso Internacional PROVIAL.
- Pardos , M., & Canata , M. (2012). *Malla Metalica para la reflexión de Grietas en Recapados Asfáltico*. Colombia: Universidad de Concepción. Obtenido de http://www2.udec.cl/~provial/trabajos_pdf/34MarcosPardoMallaMetalicaRecapado.pdf
- PAVCO, G. (2009). *Manual de diseño con geosintéticos*. Bogotá: Zetta Comunicadores S.A.
- Prada , O., Gonzáles , H., & Reyes , G. (2010). *Comportamiento de dos mezclas asfálticas venezolanas en caliente, modificadas con desecho de policloruro de vinilo*. Venezuela: Ciencia e Ingeniería. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550788008.pdf>
- Ramírez , M. (2013). *LA GEOGRILLA DE FIBRA DE VIDRIO, EN EL MARCO DE LA MECÁNICA DE MATERIALES, COMO ALTERNATIVA PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS*. Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/448/Ramirez_ma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramírez, M. (2013). *LA GEOGRILLA DE FIBRA DE VIDRIO, EN EL MARCO DE LA MECÁNICA DE MATERIALES, COMO ALTERNATIVA PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS. (Tesis)*. Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Reyes, F., & Rondón, H. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

- Reyes, O. O., Camacho, T. J., & Londoño, L. A. (2013). Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo. *Revista Científica General José María Córdova*, 11(12), 215-232.
- Rodriguez, A. P. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas*. Universitat Politècnica de Catalunya., Catalunya.
- SHiMADZU. (2015). *Hydraulic Universal Testing Machines*. Obtenido de https://analit-spb.ru/files/TM/UH_X_Brochure_eng.pdf
- TENAX. (2003). *Geomallas Coextruidas y de fibra de vidrio; Funciones y aplicaciones*. México .
- Torres, R. Z. (2007). *Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento*. Guatemala.
- Vidal , G., & Calabi , F. (2012). *La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro*. Universidad de la Frontera. Obtenido de <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/download/1964/1754/>

ANEXOS

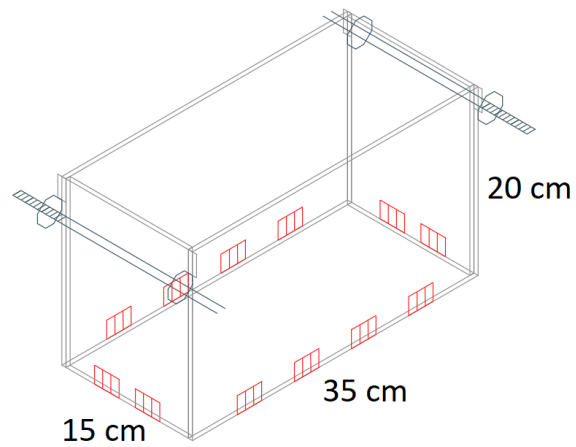


Ilustración 1: Molde y accesorios de acero para elaboración de las mezclas asfálticas de ensayo.

Elaborado por: Moreno L, 2023

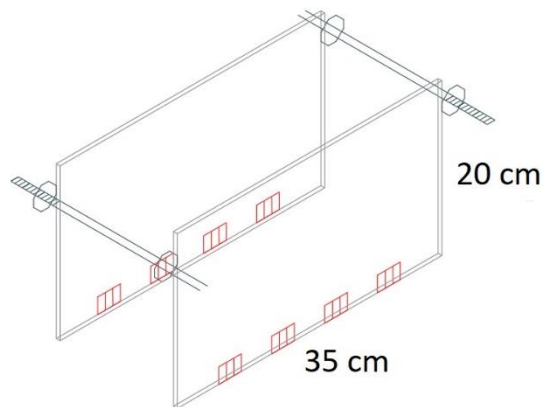


Ilustración 2: Tapas laterales del Molde, bisagras, tuercas de ajuste, tornillo.

Elaborado por: Moreno L, 2023

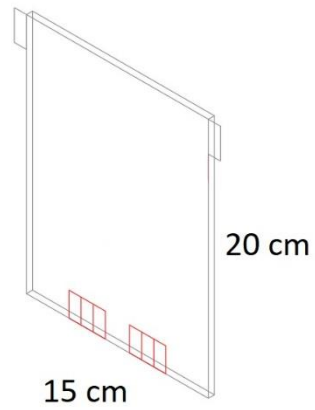


Ilustración 3: Tapa frontal con bisagras.

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 4: Molde real para mezclas asfálticas en caliente resístete a la energía de compactación.

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 5: Pisón de acero para compactación de vigas (1er prototipo)

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 6: Pisón reforzado de acero para compactación de vigas (2do prototipo)

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 7: Demoledor Walt para compactación de vigas

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 8: Equipo de compactación y molde

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 9: Briquetas de mezcla asfáltica antes de ensayo

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 10: Ensayo de flujo y estabilidad

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 11: Briquetas después de ensayo

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 12: Ensayo de densidad máxima

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 13: Ensayo de densidad máxima 2

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 14: Preparación de asfalto para vigas

Elaborado por: Moreno L, 2023

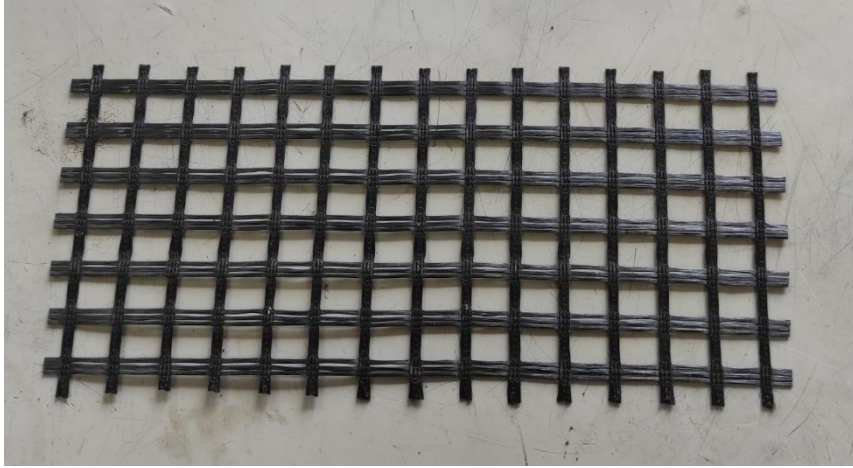


Ilustración 15: Geomalla de fibra de vidrio para vigas

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 16: Capa antigua compactada de 6cm y desmoldada

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 17: Elaboración de fisura de 5mm en capa antigua

Elaborado por: Moreno L, 2023

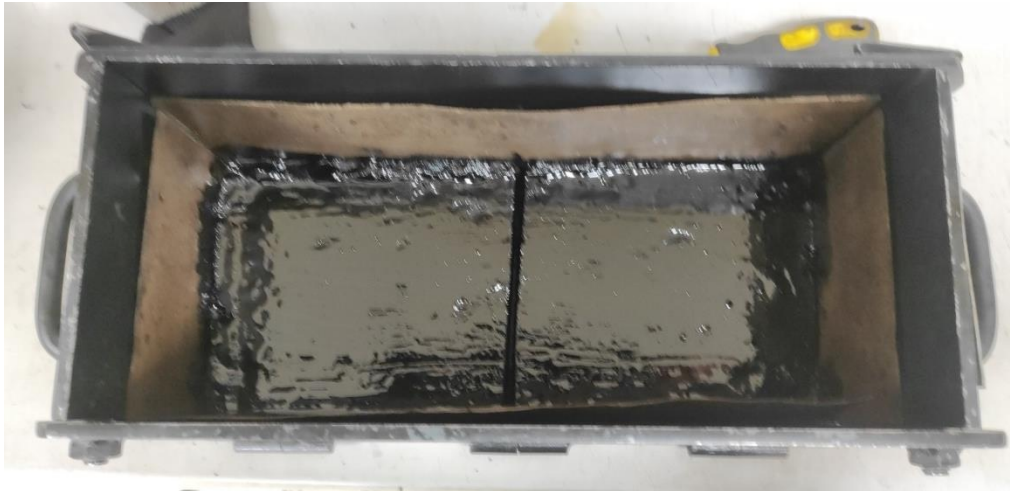


Ilustración 18: Capa antigua con riego de liga.

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 19: Capa antigua con riego de liga y geomalla

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 20: Vigas para ensayo izq:C1, B1 y A1

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 21: Viga A1 antes del ensayo de carga cíclica

Elaborado por: Moreno L, 2023

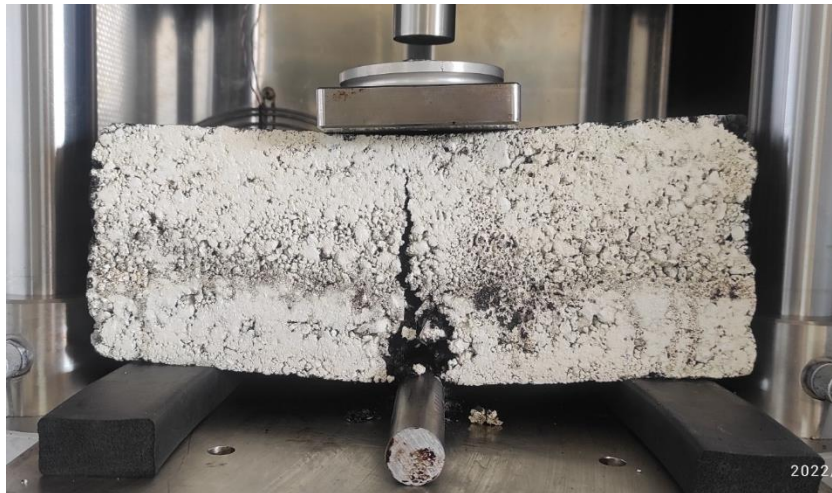


Ilustración 22: Viga A1 después del ensayo de carga cíclica

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 23: Deformación viga A1

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 24: Viga B1 antes del ensayo de carga cíclica

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 25: Viga B1 después del ensayo de carga cíclica

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 26: Deformación viga B1

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 27: Viga C1 antes del ensayo de carga cíclica

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 28: Viga C1 después del ensayo de carga cíclica

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 29: Deformación viga C1

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 30: Comparativa de la falla en las vigas izq: B1 y A1

Elaborado por: Moreno L, 2023

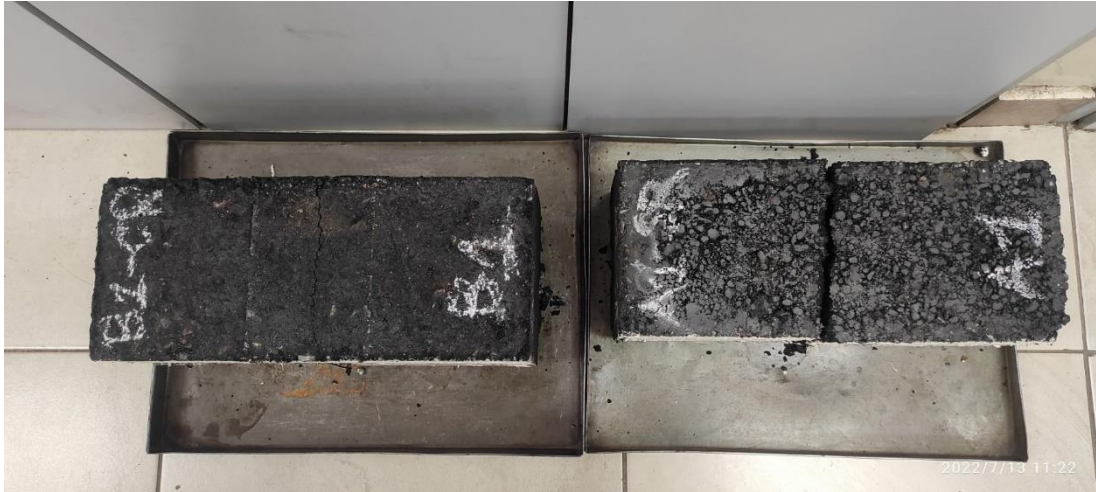


Ilustración 31: Comparativa 2 de la falla en las vigas izq: B1 y A1

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 32: Comparativa de la falla en las vigas izq: C1, B1 y A1

Elaborado por: Moreno L, 2023



Ilustración 33: Comparativa 2 de la falla en las vigas izq: C1, B1 y A1

Elaborado por: Moreno L, 2023



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO: TODOS LOS PROYECTOS QUE LA COMPANIA A&P MANTENGA

SOLICITA: ING. FRANCISCO AÍLLO NOVOA

REALIZADO: "LDMS" LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y DISEÑOS CIA. LTDA.

FECHA: SEPTIEMBRE 2021

MÉTODO UTILIZADO SEGÚN NORMA ASTM D1559 O AASHTO T225: MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS DE AGREGADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO (AC-20).

DISEÑO CARPETA ASFALTICA CON FAJA DE 3/4"

1. PROPÓSITO

1.2. Propósito General

Determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en la mezcla hecha en el laboratorio y procesarla en una planta de mezcla en caliente.

1.3. Propósito Concreto

Medir la estabilidad y flujo de las muestras.

Determinar la cantidad de asfalto suficiente para recubrir completamente los agregados.

Realizar un análisis de densidad–vacíos de la mezcla.

2. EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR ESTE DISEÑO

Juego de elementos para ensayo Marshall, que incluye molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y mordazas para ensayo con sus guías.

Otros elementos tales como Tamices, balanzas, calentadores, termómetros, estufa, bandejas metálicas, baño María, extractores de muestras, etc.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

3. TECNICA DE ENSAYO, ANALISIS DE DATOS Y CÁLCULOS

3.1. Muestreo necesario

Se recomienda por el método utilizado elaborar tres muestras para cada combinación de agregados y contenido de cemento asfáltico elegido. Tanto los agregados como el asfalto deberán cumplir individualmente las especificaciones técnicas correspondientes a ellos.

3.2. Preparación de los agregados

Procedemos a secar los agregados por separado a una temperatura de 110°C hasta peso constante. Al tener el agregado procedemos a efectuar su granulometría por separado y luego realizamos las combinaciones necesarias para trabajar con las especificaciones técnicas y trabajamos con la graduación recomendada que para nuestro caso es la faja de 3/4".

Para el método Marshall, con el cual es realizado este diseño que se realiza en planta y en caliente, nos basamos en las normas estipuladas por las **ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MOP-001-F-2002 Y LAS INDICADAS POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO.**

4. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO

Estabilidad	(Lb.)	2200Lbs. mínimo
Flujo	(0.01")	8 – 14
Vacíos con aire	(%)	3 – 5
V.A.M.	(%)	13 mínimo
V.A.F	(%)	64 – 75
Temperatura del asfalto	(°C)	140 – 160
Temperatura de los agregados	(°C)	140 – 160
Temperatura de la mezcla	(°C)	150
Nº golpes por capa		75
Relación filler/betún		0.8 – 1.2
Estabilidad retenida luego de 7 días de inmersión en agua a temperatura ambiente	(%)	70 mínimo



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD. DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

5. AGREGADOS UTILIZADOS

Para producir esta mezcla la cual será utilizada como carpeta asfáltica, se tritura materiales provenientes de la mina que se encuentra en el sector de las Viñas, ubicada en el paso lateral de Ambato provincia de Tungurahua los cuales se les clasifica en tres tamaños:

Grava pasa 100% 1" y retiene 3/8"

Grava pasa 100% 3/8" y retiene 1/4"

Agregado fino pasa 100% 1/4"

El asfalto a utilizar será el producido en la refinería Estatal de Esmeraldas, prefiriéndose el de penetración AC-20.

6. PROPIEDADES OBTENIDAS:

Partiendo de lo establecido en el método Marshal, el que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel que se logra obtener con el 4.0% de vacíos con aire, es así que con este contenido las demás propiedades deben cumplir con las especificaciones y normas respectivas; para este diseño se puede ver en el grafico nos indica al 4,0% se obtenemos con 6,4% CA y las demás propiedades se indican en el siguiente cuadro.

Estabilidad	2300 lbs.
Flujo (0.01")	13,0
V.M.A.	14.6%
V.A.F	69.52%
Estabilidad retenida	70.2%
TRACCIÓN INDIRECTA	
Seca a temperatura ambiente	5.3Kg/cm2
24h. sumergida en agua a temperatura ambiente	1.05Kg/cm2

Observando estos resultados se puede comprobar que cumplen con las normas establecidas y especificaciones y que el porcentaje óptimo de asfalto es 6.09%.

7. CONCLUSIONES:

De los resultados obtenidos se puede determinar que es una mezcla centrada y con buena trabajabilidad.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

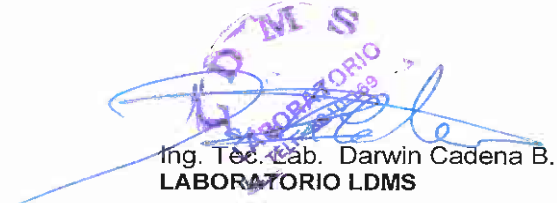
Sin embargo, es procedente realizar control diario para poder mantener la calidad de la mezcla según el diseño propuesto.

Se recomienda de ser necesario algún reajuste más se lo debe realizar en la obra ya que las condiciones de laboratorio son totalmente óptimas no así en el proyecto, tiene según especificaciones ciertos márgenes de error.

El diseño cumple con los requerimientos de normas y especificaciones MOP – 001- F – 2002 las mismas que han sido empleadas para realizar lo.

NOTA: se adjunta informes. Y archivo fotográfico

Atentamente,


Ing. Téc. Cab. Darwin Cadena B.
LABORATORIO LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



Dirección: Panamericana sur Km 101/2 Barrio La Patagonia calle S42A S42-36 y E2F
 Quito—Ecuador
 Telf. 3010100—3010169—094185252 mail/ldmslabingenieria@hotmail.com
 Página 5 de 6



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS



Dirección: Panamericana sur Km 101/2 Barrio La Patagonia calle S42A S42-36 y E2F
Quito—Ecuador
Telf. 3010100—3010169—094185252 mail/ ldmslabingcneria@hotmail.com
Página 6 de 6





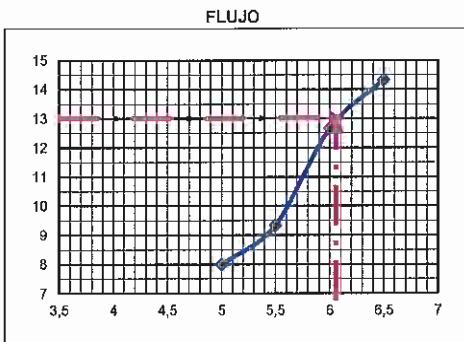
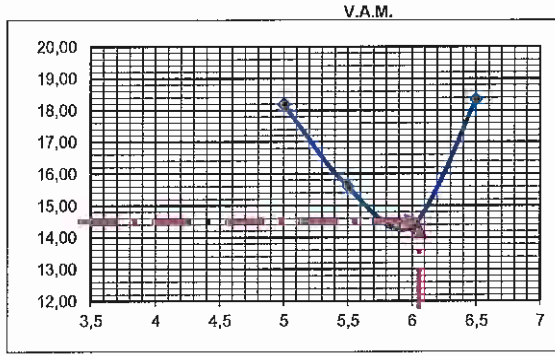
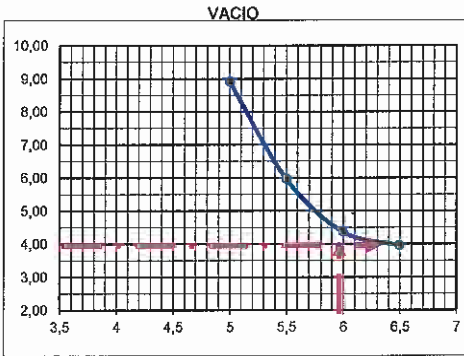
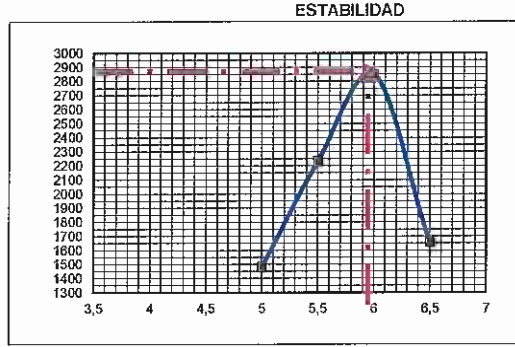
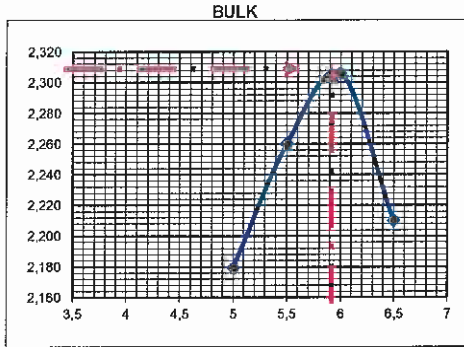
LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Las Viñas

FECHA: 30-sep.-21
 PROYECTO: Todos los proyectos que la constructora Aillon
 AGREGADOS: Para la mezcla (3/4", 3/8" y ε

SOLICITA: Ing. Francisco Aillon N.
 FISCALIZADOR:
 ENSAYADO: Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.



PORCENTAJE DE ASFALTO

DENSIDAD BULK	=	5,90 %
ESTABILIDAD	=	5,98 %
% DE VACIOS	=	6,40 %
% OPTIMO C.A.	=	6,09 %

COMPROBACION :

% V.A.M. (> 13.0)	=	14,6 ok
FLUJO (8-14)	=	13,0 ok

ELABORADO





LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

METODO MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS NORMA ASTM D- 1659

FECHA: 2021-09-30 Diseño
 PROYECTO: Todos los proyectos que la constructora Allion FAJA 1/2 "Table 405-5.1 Especificaciones Técnicas MOP001-F-2002"
 SOLICITA: Ing. Francisco Allion N. Diseño
 FISCALIZADOR: TIPO DE ASFALTO: AC-20
 ENSAYADOR: Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B. AGREGADOS: Para la mezcla (3/4", 3/8" y arena)
 CALZADA: 1,015 ton / m3
2,531 ton / m3

BRIQUETA No.	FECHA	% C.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS		VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"
				Aire	Saturado		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios			Medida	Correg.	
1	30/09/2021	5,00%	0,86	1221,7	1230,7	667,6	2,170						1722,0	1480,9	8,0	
2			0,83	1256,2	1264,2	689,5	2,186						1786,0	1484,0	9,0	
3			0,89	1209,8	1219,8	666,3	2,182						1666,0	1473,8	7,0	
PROMEDIO															8,0	
1	30/09/2021	5,50%	0,86	1198,9	1203,8	676,6	2,274			5,01	86,07	8,92	50,98	2321,0	2228,2	9,0
2			0,83	1215,3	1219,6	679,8	2,251							2429,0	2259,0	10,0
3			0,93	1231,7	1238,5	692,3	2,255							2360,0	2213,4	9,0
PROMEDIO															9,3	
1	30/09/2021	6,00%	0,83	1346,6	1346,9	767,7	2,323			4,77	89,25	5,98	61,71	3816,0	3001,3	13,0
2			0,89	1289,1	1270,5	716,4	2,290							2875,0	2558,8	12,0
3			0,86	1320,6	1321,9	748,9	2,305							3456,0	2972,2	13,0
PROMEDIO															12,7	
1	30/09/2021	6,50%	0,83	1195,4	1196,1	656,0	2,213			4,56	91,06	4,37	69,52	1788,0	1662,8	15,0
2			1,00	1146,6	1146,3	627,4	2,208							1688,0	1688,0	15,0
3			0,89	1215,2	1216,1	666,1	2,209							1809,0	1610,0	13,0
PROMEDIO															14,3	

Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Las Viñas

FECHA: 30-sep.-21

SOLICITA: Ing. Francisco Aillon N.

PROYECTO: Todos los proyectos que la constructora Aillon

FISCALIZADOR:

AGREGADOS: Para la mezcla (3/4", 3/8" y arena)

ENSAYADO: Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz 3/8"

A Peso en el aire de la muestra secada al horno	4933
B Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C Peso en el agua de la muestra saturada	3129

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2,637
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2,672
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2,734
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	1,36

AGREGADO MEDIO

Material ue pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4"

A Peso en el aire de la muestra secada al horno	4929
B Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C Peso en el agua de la muestra saturada	3083

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2,571
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2,608
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2,670
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	1,44

AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 1/4"

A Peso en el aire de la muestra secada al horno	485,8
V Volumen de la probeta	500
W Peso en gramos o en cc del agua añadida	302,7

Gravedad específica de la masa = $A/(V-W)$	2,462
Gravedad específica de s.s.s = $500/(V-W)$	2,534
Gravedad específica aparente = $A/(V-W) - (500-A)$	2,653
% de Absorción = $(500-A)/A*100$	2,92

PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA (ENSAYO RICE)

% de asfalto	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%
A Peso de la muestra	1450	1500	1500	1650
D Peso del recipiente + agua	8368	8368	8368	8368
E Peso del recipiente + agua + muestra	9212	9244	9246	9301
Densidad Rice gr/cc = $A/(A + D - E)$	2,393	2,404	2,412	2,301

ELABORADO

Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Las Viñas

FECHA: 30-sep.-21

SOLICITA: Ing. Francisco Aillon N.

PROYECTO: Todos los proyectos que la constructora Aillon

FISCALIZADOR:

AGREGADOS: Para la mezcla (3/4", 3/8" y arena)

ENSAYADO: Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz 3/8"

A Peso en el aire de la muestra secada al horno	4933
B Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C Peso en el agua de la muestra saturada	3129

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2,637
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2,672
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2,734
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	1,36

AGREGADO MEDIO

Material ue pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4"

A Peso en el aire de la muestra secada al horno	4929
B Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C Peso en el agua de la muestra saturada	3083

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2,571
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2,608
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2,670
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	1,44

AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 1/4"

A Peso en el aire de la muestra secada al horno	485,8
V Volumen de la probeta	500
W Peso en gramos o en cc del agua añadida	302,7

Gravedad específica de la masa = $A/(V-W)$	2,462
Gravedad específica de s.s.s = $500/(V-W)$	2,534
Gravedad específica aparente = $A/(V-W)-(500-A)$	2,653
% de Absorción = $(500-A)/A*100$	2,92

PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA (ENSAYO RICE)

% de asfalto	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%
A Peso de la muestra	1450	1500	1500	1650
D Peso del recipiente + agua	8368	8368	8368	8368
E Peso del recipiente + agua + muestra	9212	9244	9246	9301
Densidad Rice gr/cc = $A/(A + D - E)$	2,393	2,404	2,412	2,301

ELABORADO

Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Las Viñas

FECHA: 30-sep.-21

SOLICITA: Ing. Francisco Aillon N.

PROYECTO: Todos los proyectos que la constructora Aillon

FISCALIZADOR:

AGREGADOS: Para la mezcla (3/4", 3/8" y arena)

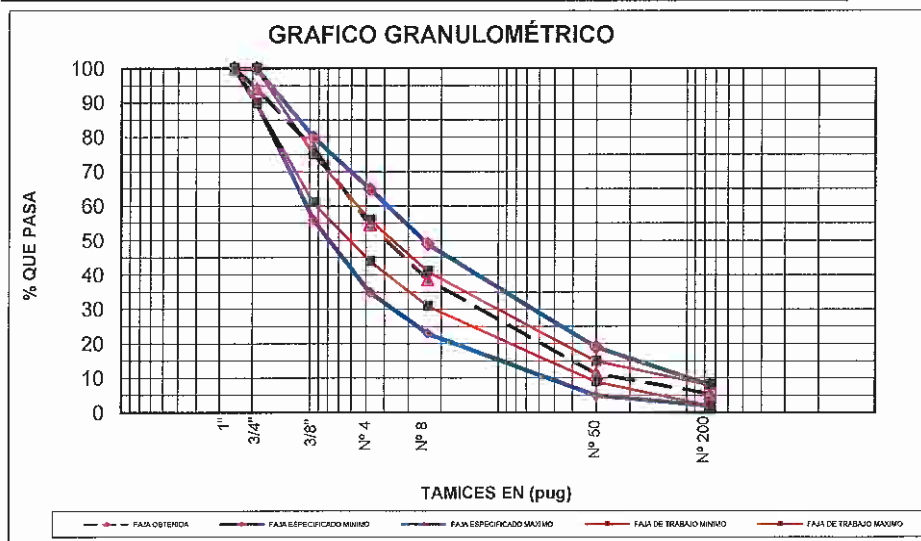
ENSAYADO: Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 406-5.1, "1/2"	% QUE PASA
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427,1	23,7	76,3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677,6	93,2	6,8	0	0	100	0	0	100	56	80
Nº 4	1789,2	99,4	0,6	1233,1	65,9	34,1	98,7	8,1	91,9	35	65
Nº 8	1794,1	99,7	0,3	1756,5	93,8	6,2	315,1	25,8	74,2	23	49
Nº 50	1794,9	99,7	0,3	1760,2	94	6	986,3	80,6	19,4	5	19
Nº 200	1795,2	99,7	0,3	1773,6	94,7	5,3	1124,5	91,9	8,1	2	8
Pasa 200	4,8	0,3		98,5	5,3		98,9	8,1			
TOTAL	1800,0			1872,1			1223,4				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	% QUE PASA						
			"1	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO		25,00%	25,0	19,1	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1
AGREGADO MEDIO		25,00%	25,0	25,0	25,0	8,5	1,6	1,5	1,3
AGREGADO FINO		50,00%	50,0	50,0	50,0	46,0	37,1	9,7	4,1
CURVA OBTENIDA			100,0	94,1	76,7	54,6	38,7	11,3	5,5
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	44	31	9	2
			100	100	75	56	41	15	8



ELABORADO

Ing. Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CALCULO : LUIS MORENO

N° DE RECEPCIÓN : P 4169

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA LAS BRIQUETASMasa seca **1100,00**

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	% RETENIDO	% PASA
1"	25,00	0,0	0,00	0,00	100,0
3/4"	19,00	65,3	65,25	5,93	94,1
3/8"	9,50	191,0	256,30	23,3	76,7
4	4,75	242,6	498,86	45,4	54,6
8	2,36	175,2	674,07	61,3	38,7
50	0,300	302,1	976,19	88,7	11,3
200	0,075	64,1	1.040,34	94,6	5,4
PASA N° 200		59,7	1.100,0		

AGREGADO A	AGREGADO B	AGREGADO C
PORCENTAJES DE MEZCLAS		
50%	25%	25%
550	275	275
0,00	0,00	0,00

DISEÑO N° 2

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM.	PESO RET. ACUM.
1"	25,00	0,0	0,0	0,0
3/4"	19,00	0,0	0,0	65,3
3/8"	9,50	0,0	0,0	191,0
4	4,75	44,4	181,1	17,1
8	2,36	97,3	77,2	0,7
50	0,300	301,7	0,2	0,1
200	0,075	62,1	2,0	0,0
Pasa Tamiz N° 200		44,5	14,5	0,7

825,0

Porcentajes de Asfalto %	Peso Asfalto gramos (briquetas)	Peso Asfalto gramos (RICE)
5,0	55,0	110
5,5	60,5	121
6,0	66,0	132
6,5	71,5	143
7,0	77,0	154

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

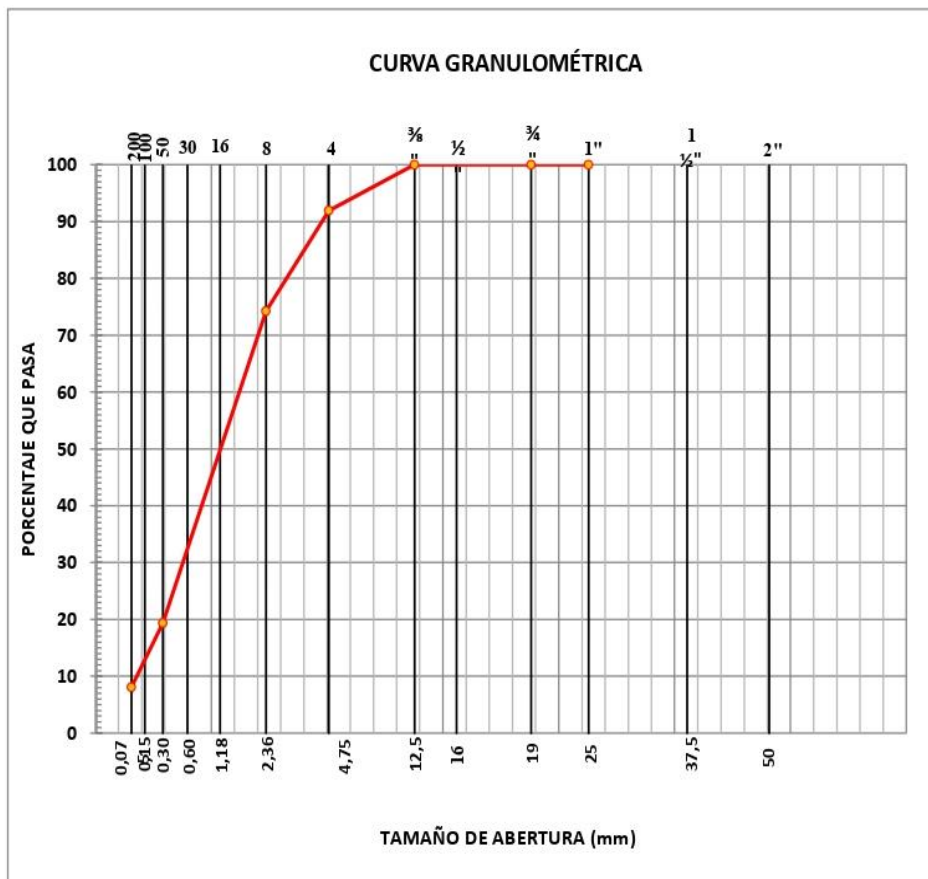
OBRA :	Tesis P 4169	N° DE RECEPCIÓN :	P 4169
LOCALIZACIÓN :	Quito	SOLICITADO POR :	Luis Moreno
MUESTRA :		FISCALIZACIÓN :	
DESCRIPCIÓN :		CONTRATISTA :	
NORMA :		FECHA :	22/6/2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

Masa seca 1223,40

TAMIZ N°	BERTURA (mm)	PESO RETENID	PESO RET. ACUM	% RETENIDO	% PASA
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,0
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,0
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0
4	4,75	0,00	98,70	8,07	91,9
8	2,36	0,00	315,10	25,76	74,2
50	0,300	0,00	986,30	80,62	19,4
200	0,075	0,00	1.124,50	91,92	8,1
PASA N° 200		0,00	98,90	8,08	

1.223,40



ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

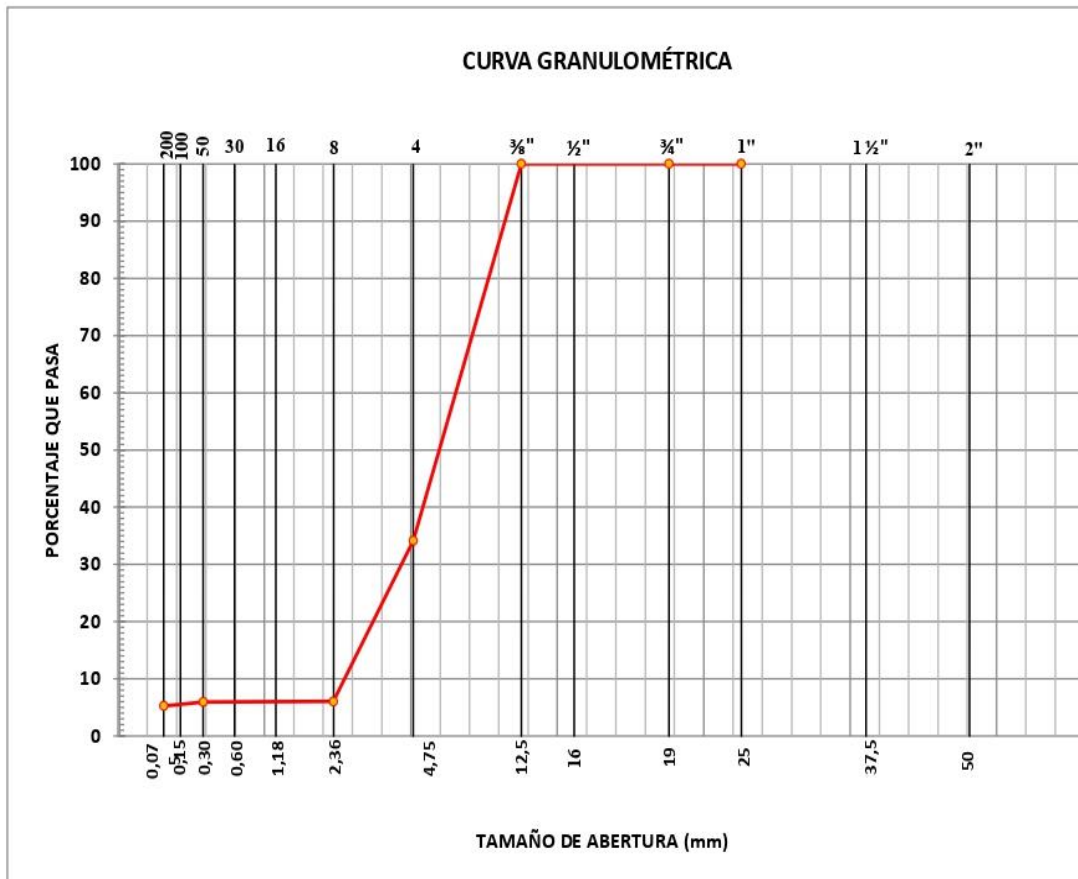
OBRA :	Tesis P 4169	N° DE RECEPCIÓN :	P 4169
LOCALIZACIÓN :	Quito	SOLICITADO POR :	Luis Moreno
MUESTRA :		FISCALIZACIÓN :	
DESCRIPCIÓN :		CONTRATISTA :	
NORMA :		FECHA :	22/6/2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO INTERMEDIO

Masa seca 1872,10

TAMIZ N°	BERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. ACUM	% RETENIDO	% PASA
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	0,00	1.233,10	65,87	34,13
8	2,36	0,00	1.758,50	93,93	6,07
50	0,300	0,00	1.760,20	94,02	5,98
200	0,075	0,00	1.773,60	94,74	5,26
PASA N° 200		0,00	98,50	5,26	

1.872,10



ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

OBRA :	Tesis P 4169	N° DE RECEPCIÓN :	P 4169
LOCALIZACIÓN :	Quito	SOLICITADO POR :	Luis Moreno
MUESTRA :		FISCALIZACIÓN :	
DESCRIPCIÓN :		CONTRATISTA :	
NORMA :		FECHA :	22/6/2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

Masa seca 1800,00

TAMIZ N°	BERTURA (mm)	ESO RETENID	ESO RET. ACUM	% RETENIDO	% PASA
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	427,10	23,73	76,27
3/8"	9,50	0,00	1.677,60	93,20	6,80
4	4,75	0,00	1.789,20	99,40	0,60
8	2,36	0,00	1.794,10	99,67	0,33
50	0,300	0,00	1.794,90	99,72	0,28
200	0,075	0,00	1.795,20	99,73	0,27
PASA N° 200		0,00	4,80	0,27	
			1.800,00		



ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

OBRA : Tesis P 4169
 LOCALIZACIÓN : Quito
 MUESTRA :
 DESCRIPCIÓN :

Nº DE RECEPCIÓN : P 4169
 SOLICITADO POR : Luis Moreno
 FISCALIZACIÓN :
 CONTRATISTA :
 FECHA : 22/6/2022

PORCENTAJE DE MEZCLA DE LOS AGREGADOS

MALLA		1"	3/4 "	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
ABERTURA	(mm)	25	19	9,5	4,75	2,36	0,3	0,075
ESPECIFICACIÓN	MÍN	100	90	56	35	23	5	2
	MÁX	100	100	80	65	49	19	8
AGREGADO	A (ARENA)	100,0	100,0	100,0	91,9	74,2	19,4	8,1
AGREGADO	B (GRUESO)	100,0	100,0	100,0	34,1	6,1	6,0	5,3
AGREGADO	C	100,0	76,3	6,8	0,6	0,3	0,3	0,3
MEZCLA AGREGADOS		100,0	94,1	76,7	54,6	38,7	11,3	5,4

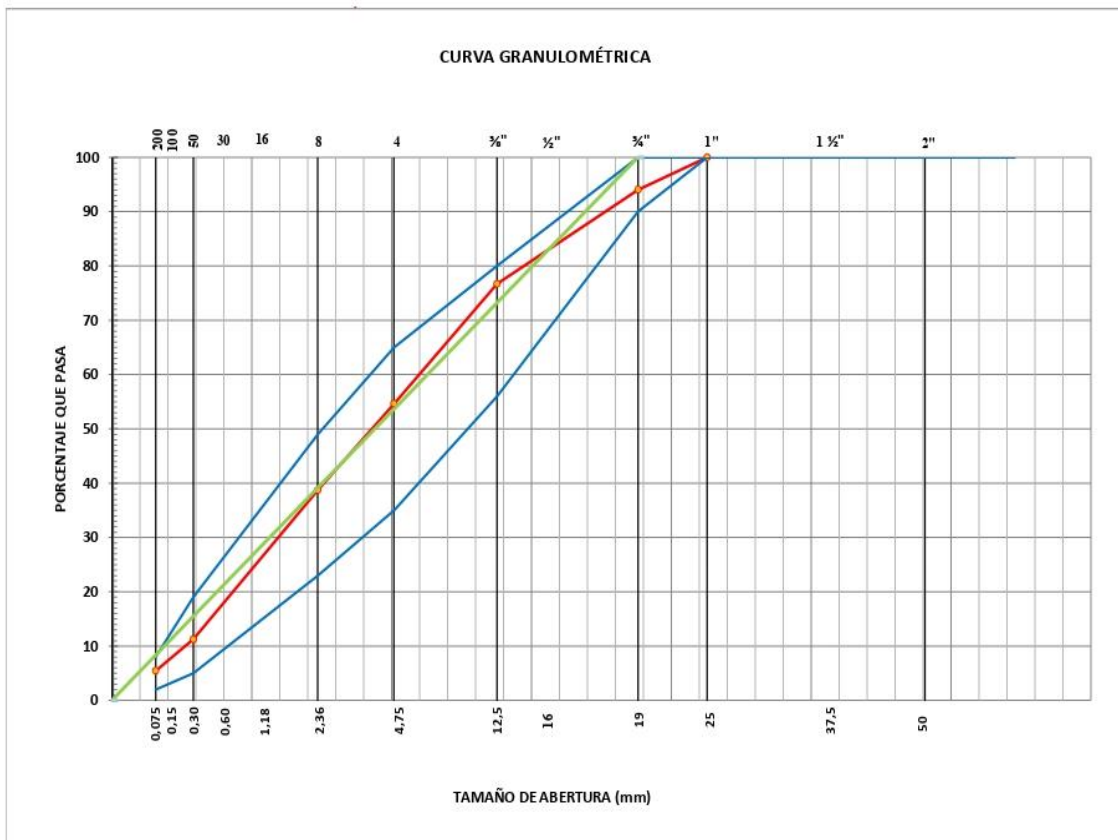
PORCENTAJES DE MEZCLA

Agregado A	50%
Agregado B	25%
Agregado C	25%

Agregado A: Arena

Agregado B: Medio

Agregado C: Grueso



ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

OBRA : TESIS LUIS MORENO
LOCALIZACIÓN : QUITO-ECUADOR
MUESTRA :
DESCRIPCIÓN : AGREGADOS TESIS LUIS MORENO

N° DE RECEPCIÓN : 4169 P
SOLICITADO POR :
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA : 22/6/2022

1.- GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C 127) - GRUESO

Peso en el Aire (A) =	4933	gr
Peso Sat. Sup. Seca (B) =	5000	gr
Peso en el Agua (C) =	3129	gr

Gravedad Específica Bulk	2,637	gr/cm ³
Gravedad Específica SSS	2,672	gr/cm ³
Gravedad Específica AP	2,734	gr/cm ³

% de Absorción	1,36
----------------	------

2.- GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO MEDIO (ASTM C 127) - MEDIO

Peso en el Aire (A) =	4929	gr
Peso Sat. Sup. Seca (B) =	5000	gr
Peso en el Agua (C) =	3083	gr

Gravedad Específica Bulk	2,571	gr/cm ³
Gravedad Específica SSS	2,608	gr/cm ³
Gravedad Específica AP	2,670	gr/cm ³

% de Absorción	1,44
----------------	------

4.- GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO (ASTM C 128) - ARENA

Peso en el Aire (A) =	485,80	gr
Peso Pic + agua (E) =	658,10	gr
Peso Sat. Sup. Seca (B) =	500,00	gr
Peso Pic. + agua + muestra (D) =	960,80	gr

Gravedad Específica Bulk	2,462	gr/cm ³
Gravedad Específica SSS	2,534	gr/cm ³
Gravedad Específica AP	2,653	gr/cm ³

% de Absorción	2,92
----------------	------

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

OBRA : TESIS LUIS MORENO
 LOCALIZACIÓN : QUITO-ECUADOR
 DESCRIPCIÓN : DISEÑO MARSHALL - TESIS LUIS MORENO

N° DE RECEPCIÓN : 4169 P
 SOLICITADO POR :
 FISCALIZACIÓN :
 CONTRATISTA :
 FECHA : 22/6/2022

ENSAYO MARSHALL

Gsb (Peso específico de agregados) = 2.531 g/cm³
 Gmm (Peso esp. Teórico máx medido) = 2.331 g/cm³

Fecha de realización	Briqueta	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	D. Bulk g/cm ³	Gmm g/cm ³	V. a. %	V. agr. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
													Medida	F Correc.	Corregida	
22/6/2022	1	5,0	1138.54	1142.75	613.19	529.6	2.150	2.375	9,47	82,7	17,30	45,23	3240	0,96	3110	10
	2	5,0	1143.03	1148.07	618.06	530.0	2.157	2.375	9,19	83,0	17,05	46,07	3300	0,96	3168	11
	3	5,0	1142.69	1144.56	617.16	527.4	2.167	2.375	8,77	83,3	16,67	47,38	3400	0,96	3264	11
						PROMEDIO	2.158	2.375	9,1	83,0	17,0	46,2			3181	10
	4	5,5	1141.12	1144.29	613.32	531.0	2.149	2.352	8,63	85,2	14,75	41,54	3450	0,96	3312	12
	5	5,5	1146.33	1151.10	618.72	532.4	2.153	2.352	8,45	85,4	14,60	42,12	3340	0,96	3206	12
	6	5,5	1146.68	1151.73	620.42	531.3	2.158	2.352	8,24	85,6	14,42	42,84	3150	0,96	3024	12
						PROMEDIO	2.154	2.352	8,4	85,4	14,6	42,2			3181	12
	7	6,0	1153.18	1153.85	629.78	524.1	2.200	2.331	5,60	87,7	12,27	54,36	3450	0,96	3312	12
	8	6,0	1153.32	1155.05	627.62	527.4	2.187	2.331	6,19	87,2	12,78	51,57	3060	0,96	2938	12
	9	6,0	1152.25	1153.24	630.00	523.2	2.202	2.331	5,53	87,8	12,21	54,73	3490	0,96	3350	12
						PROMEDIO	2.196	2.331	5,8	87,6	12,4	53,6			3200	12
	10	6,5	1157.36	1157.66	633.41	524.3	2.208	2.306	4,27	86,6	13,44	68,27	3260	0,96	3130	12
	11	6,5	1159.50	1160.03	640.17	519.9	2.230	2.306	3,28	87,4	12,60	73,99	2960	1,00	2960	13
	12	6,5	1156.85	1157.54	634.34	523.2	2.211	2.306	4,12	86,7	13,31	69,09	3750	0,96	3600	13
					PROMEDIO	2.216	2.306	3,9	86,9	13,1	70,4			3230	12	
13	7,0	1165.60	1165.84	643.93	521.9	2.233	2.281	2,09	84,1	15,93	86,89	3250	1,00	3250	13	
14	7,0	1163.93	1164.15	644.04	520.1	2.238	2.281	1,89	84,2	15,77	88,00	3400	1,00	3400	11	
15	7,0	1166.74	1166.99	642.50	524.5	2.225	2.281	2,48	83,7	16,26	84,77	3230	0,96	3101	13	
					PROMEDIO	2.231	2.281	2,2	84,0	16,0	86,6			3250	12	

ÁREA DE PAVIMENTOS
INFORME DE ENSAYO
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

OBRA : TESIS LUIS MORENO
LOCALIZACIÓN : QUITO - ECUADOR
DESCRIPCIÓN : GRAFICOS DEL DISEÑO PARA TESIS LUIS MORENO

N° DE RECEPCIÓN : 4169 P
SOLICITADO POR :
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA : 22/6/2022

GRÁFICOS DEL DISEÑO

