

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN



**“EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS
PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE
GEOMALLAS”.**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

ING. ALARCÓN ITURRÍOS JOAN ANDREY

DIRECTOR DE TESIS

DR. PELLEGRINI CERVANTES MANUEL DE JESUS

CO-DIRECTOR DE TESIS

DRA. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ MARGARITA

Culiacán Rosales, Sinaloa, junio del 2023



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



RESUMEN

Dada la importancia de las geomallas como material reforzado en varias divisiones de la ingeniería civil. En este estudio el uso de materiales geosintéticos, concretamente las geomallas de fibra de vidrio y polipropileno, como refuerzo dentro de las capas que forman el armazón de un pavimento flexible. El objetivo de este proyecto de intervención es evaluar su viabilidad como alternativa tanto técnica y económica sin comprometer la capacidad estructural de la carretera prevista para un proyecto concreto. Para ello, los interesados podrán conocer mediante experimentos con la pista cargada de Hamburgo cuánto se deforman permanentemente los pavimentos y cuánto se deterioran los componentes estructurales de los mismos mediante la metodología AASHTO 93 y el software informático denominado MacREAD Pavement Design. Asimismo, se determinó el efecto económico que tendrá la utilización de este tipo de materiales a lo largo de la vida útil a corto y largo plazo de un pavimento, comparando el análisis de precios unitarios con los del mercado más recientes de la inversión.

PALABRAS CLAVE

Pavimentos flexibles, geosintéticos, geomallas

ABSTRACT

Given the importance of geogrids as a reinforced material in various divisions of civil engineering. In this study the use of geosynthetic materials, specifically fiberglass and polypropylene geogrids, as reinforcement within the layers that form the framework of a flexible pavement. The objective of this intervention project is to evaluate its feasibility as a technical and economical alternative without compromising the structural capacity of the road planned for a specific project. For this purpose, interested parties will be able to find out through experiments with the Hamburg loaded track how much the pavement deforms permanently and how much the structural components of the pavement deteriorate using the AASHTO 93 methodology and the computer software called MacREAD Pavement Design. In addition, the economic effect of using this type of material over the short and long term service life of a pavement was determined by comparing the unit price analysis with the most recent market prices of the investment.

KEY WORDS

Flexible pavements, geosynthetics, geogrids

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Por ser mi más grande motivación, y por ser los mejores maestros que la vida me ha dado. Les dedico este trabajo principalmente a ustedes por darme las herramientas para afrontar el mundo, me han hecho creer en mí y en el valor que tengo, gracias por siempre criarme con los valores que permanentemente estuvieron presentes en casa. Siempre serán mi inspiración para seguir creciendo, seguir luchando y seguir escalando en este viaje llamado vida.

A mis hermanos

Por el amor que siempre me han brindado y por estar para mí siempre que los necesito.

A Dámaris

Por ser una fuente de inspiración, por tu apoyo, respeto y el amor entregado en este tiempo. Te dedico este trabajo también a ti, y te agradezco enormemente por siempre alentarme, aconsejarme y exhortarme en su culminación.

A mi director de tesis

Gracias Dr. Pellegrini por su sabiduría y por acompañarme durante todo el transcurso de este proyecto de investigación.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa

Por ser mi alma mater, y por darme la oportunidad de seguir en el camino de la academia.

A la coordinación y maestros del posgrado

Por las enseñanzas, consejos, apoyo y aventuras que me hicieron vivir durante todo este proceso, los recordaré para toda la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Por otorgarme una beca para sacar adelante este programa de maestría y para realizar los pagos pertinentes que derivan de este proyecto de investigación. Gracias por participar en la formación de profesionales calificados que participen en el descubrimiento de herramientas y métodos que precisen el desarrollo de la sociedad.

Al laboratorio Concoc, S.A. de C.V.

Gracias a ustedes por permitirme realizar todas las pruebas experimentales de este trabajo de tesis, principalmente al Ing. Denis Arturo Melendrez López por su asesoría, y sus enseñanzas.

A Maccaferri de México

Gracias por facilitarme las geomallas para la realización de este trabajo, por su asesoría técnica y por estar siempre al tanto de la realización del proyecto.

A mis compañeros

Por su apoyo, risas, y por la amistad que formamos durante esta travesía, especialmente a mi amigo Óscar Francisco López Muñoz por su continuo y desinteresado apoyo que siempre me ha brindado, si hoy he llegado hasta acá, también ha sido gracias a ti.

Y a mis amigos

Por ser siempre un soporte, por apoyarme en mis mejores y peores momentos, el cariño que les tengo es indescriptible.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Presentación	14
1.2. Análisis situacional.....	15
1.3. Definición del problema seleccionado	16
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	17
2.1. Hipotésis	17
2.2. Marco histórico y contextual	18
2.3. Estado del arte	19
2.4. Marco teórico	22
2.5. Marco legal	43
3. PROYECTO DE INTERVENCIÓN	44
3.1. Objetivo general.....	44
3.2. Objetivos específicos	44
3.3. Justificación	44
3.4. Metodología	46
3.4.1. Evaluación mediante la Rueda Cargada de Hamburgo	47
3.4.2. Reducción de espesores con la metodología AASHTO 93.....	57
3.4.3. Determinación del comportamiento de los pavimentos mediante el software MacREAD Pavement Design.....	65
3.4.4. Comparación económica.....	67
3.5. Análisis de resultados	68
3.5.1. Rueda Cargada de Hamburgo	68
3.5.2. Comparación económica.....	72
3.5.3. Programa MacREAD Pavement Design	84
3.5.4. Reducción de espesores mediante metodología AASHTO 93	88
4. ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN	96
4.1. Plan de acción	96

4.2. Estrategias a utilizar.....	96
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO.....	98
5.1. Cronograma de actividades	98
5.2. Recursos.....	98
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
6.1. Conclusiones y recomendaciones	100
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS	107
Anexo 1. Ensayos de laboratorio de pavimentos – núcleos de pavimento flexible sin refuerzo	108
Anexo 2. Ensayos de laboratorio de pavimentos – núcleos de pavimento flexible reforzados con geomalla de fibra de vidrio	121
Anexo 3. Diseño de carretera alimentadora.....	128
Anexo 4. Resultados de diseño obtenidos de MACREAD Pavement Design	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades Mecánicas del Polipropileno.	26
Tabla 2. Propiedades Térmicas del Polipropileno.....	27
Tabla 3. Especificaciones de departamentos de transporte en Norteamérica (Mohammad L. et al., 2015).	42
Tabla 4. Normativa aplicable al proyecto.	43
Tabla 5. Factor de distribución por carril.	59
Tabla 6. Tipo de carretera y sus periodos de diseño.	60
Tabla 7. Valores de “R” de confiabilidad.	61
Tabla 8. Capacidad de drenaje para remover la humedad.	63
Tabla 9. Valores sugeridos para modificar los coeficientes estructurales de capa de bases y subbases sin tratamiento (pavimentos flexibles).	64
Tabla 10. Espesores mínimos, en pulgadas con base a los ejes equivalentes.	65
Tabla 11. Granulometrías obtenidas después del tamizado	69
Tabla 12. Resultados obtenidos RCH.....	69
Tabla 13. Comparativa económica – carpeta asfáltica	76
Tabla 14. Costo directo por metro cúbico de pavimento flexible convencional sin refuerzo.	83
Tabla 15. Costo directo por metro cúbico de pavimento flexible convencional con subbase reforzada con geosintéticos.....	84
Tabla 16. Extracto de diseño de carretera alimentadora – pavimento flexible (véase anexo 03)	84
Tabla 17. Espesores de diseño y re calculados con la implementación de geomalla con el Software MacREAD Pavement Design	88
Tabla 18. Valores de diseño de pavimento tipo.	89
Tabla 19. Representa los espesores alcanzados debido a la inclusión de la geomalla biaxial.	95
Tabla 20. Cronograma de proyecto de investigación.....	98
Tabla 21. Recursos requeridos para la ejecución del plan de acción de manera correcta.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Estructura tipo de pavimento flexible (Vargas Jiménez, 2017).	24
Fig. 2. Proceso de fabricación de las geomallas coextruídas (Netlon Limited, 2019).	29
Fig. 3. Mecanismo de reforzamiento de confinamiento lateral (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).	30
Fig. 4. Mecanismo de reforzamiento de capacidad portante (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).	31
Fig. 5. Distribución de esfuerzos con la geomalla Multiaxial y biaxial (TENSAR, 2020).	33
Fig. 6. Nodos y unión de geomallas Multiaxiales (TENSAR, 2020).	34
Fig. 7. El desempeño de geomallas dependiendo carga.	35
Fig. 8. Reforzamiento de la subrasante con geomalla triaxial y biaxial.	36
Fig. 9. Formación de grietas en juntas de construcción.	38
Fig. 10. Tensiones desarrolladas para pavimento fisurado.	38
Fig. 11. Las grietas migran hacia la sobrecarpeta reforzada con geomalla (TENSAR, 2020).	40
Fig. 12. Las grietas se reorientan con la superficie en la sobrecarpeta no reforzada (TENSAR, 2020).	40
Fig. 13. Mapa mental de metodología de trabajo.	46
Fig. 14. Instalación del geosintético en vías públicas (TENSAR, 2020).	48
Fig. 15. Compactación de segunda capa de mezcla asfáltica km 108+231 de la carretera Culiacán – Mazatlán.	50
Fig. 16. Núcleo de 4” con geomalla.	51
Fig. 17. Extracción de núcleos (Km 108+231 Culiacán - Mazatlán).	52
Fig. 18. Dimensiones de moldes de polietileno de alta densidad (IMT, 2018).	55
Fig. 19. Gráfica de profundidad de rodera (IMT, 2018).	57
Fig. 20. Pantalla principal de MacREAD Pavement Design.	67
Fig. 21. Instalación de geomalla de fibra de vidrio.	68
Fig. 22. Rueda Cargada de Hamburgo en funcionamiento.	70
Fig. 23. Núcleos extraídos listos para prueba RCH.	71

Fig. 24. Espécimen después de prueba RCH.....	71
Fig. 25. Datos de la capa superficial en Software.....	85
Fig. 26. Datos de la Subbase de rodadura en Software.	86
Fig. 27. Datos de la base de rodadura en Software.....	86
Fig. 28. Datos de la subrasante en Software.....	87
Fig. 29. Datos de tráfico en Software MacREAD Pavement Design.....	87
Fig. 30. Resultado de cálculo de espesores con y sin refuerzo en Software MacREAD Pavement Design	88
Fig. 31. Estimación del Coeficiente Estructural a_2 de la capa de base granular. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1993).....	90
Fig. 32. Estimación del Coeficiente Estructural a_3 de la capa de subbase granular. (Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1993).....	91
Fig. 33. Coeficiente de relación de Maccaferri EG Geogrids: LCR vs. CBR de la Subrasante (Maccaferri, 2005).....	93

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación

El tránsito cada vez más denso, el aumento de las cargas sobre el suelo y el recorte financiero para el mantenimiento de las calles y carreteras según el Presupuesto de Egresos de la Federación del 2023, hacen que cada vez sea más difícil planificar respuestas oportunas para conservar, construir y diseñar vías de comunicación carretera.

Hoy en día, la mayoría de las calles, caminos y carreteras están expuestas a elevadas cargas de tránsito, esto, provoca un rápido desgaste de las capas superiores, causando roturas, deformaciones y requiriendo elevados costos para la reconstrucción de la obra. Con el avance de los geosintéticos, la disposición convencional actual es cambiar a redes como entramado de soporte para los pavimentos flexibles nuevos y existentes.

Las redes de las geomallas aportan una gran elasticidad a la mezcla bituminosa al absorber las cargas de torsión cíclicas provocadas por el tránsito; además, de complementar las propiedades mecánicas de la mezcla de asfalto. El control y la diseminación de la reflexión de rotura es una marca más importante dada por la geomalla como un enemigo de la disposición de reflexión de roturas; con la consideración de estos, permite aliviar la decadencia útil y primaria de los asfaltos, por lo tanto, logra una disminución financiera en la conservación y/o mantenimiento de los asfaltos. Dentro de esta circunstancia específica, el reconocimiento de la funcionalidad de las geomallas se han expandido últimamente y se supone que se seguirá usando de ahora en adelante. La consolidación de geomallas de fibra de vidrio y polipropileno en pavimentos ha adquirido ventajas en las obras, particularmente en circunstancias donde las estrategias ordinarias no ofrecen garantías, excepto si incluyen enormes gastos financieros.

La utilización de estos geosintéticos de apoyo nos permite optimizar aún más los resultados adquiridos con los materiales actuales si son introducidos con precisión

y se eligen por normas de idoneidad de propósito y con los estándares de calidad que marcan los proveedores.

1.2. Análisis situacional

Debido a la trascendencia que las calles y carreteras tienen en el mejoramiento social y económico de la sociedad en general, y aludiendo a la utilización de los geosintéticos como su sustancia vital para la ejecución de estas obras; se crea este punto para dar sentido a la manera en que el soporte de geomallas influye en los diseños asfálticos de las calles.

El plan y desarrollo de los pavimentos en México ha avanzado paulatinamente, debido a las necesidades introducidas por los famosos cambios en el método para el transporte terrestre. Desde que el hombre inició el desarrollo de obras comunes, necesitó enfrentar los inconvenientes introducidos por diferentes clases de suelos. Esto forzó a fomentar el diseño de estrategias para trabajar en los estados de diferentes tipos de suelo.

La productividad de estos arreglos se ha demostrado a largo plazo, ya que hoy en día una amplia gama de vehículos, exceptuando los vehículos de carga, que pueden circular abierta y serenamente. Lo anterior demuestra la preocupación que el diseñador y constructor de vías carreteras tiene para fomentar un procedimiento óptimo en la ejecución, con la utilización de texturas y materiales (geomallas) nuevos. El uso de geosintéticos en el diseño de proyectos, sobre todo de pavimentos flexibles, incorporan una predominantemente estabilización en los suelos; así como protección de terraplenes. Desde la última parte de la década de 1950, cuando comenzaron a utilizarse en Japón para estabilización de suelos, la utilización de geosintéticos se ha ampliado en número y variedad de usos. En los Estados Unidos de América los geosintéticos se han utilizado para el ajuste de calles en regiones húmedas cercanas a la costa este.

Un uso más típico fue la restauración de los puntos de cruce de calle/ferrocarril para limitar los problemas de asentamiento diferencial utilizando geomallas y geotextiles.

Hoy en día, como promotor de un comportamiento mecánico adecuado de suelos débiles y como soporte de asfalto, se crearon los geosintéticos para reforzamientos de vías carreteras en los Estados Unidos de Norteamérica, donde se han realizado muchos proyectos con la utilización de estos materiales. La carretera del Circuito Exterior en México sirve de ejemplo, en donde los constructores de la carretera esperaban trazar una calle a través de un lecho de lago siempre húmedo, optaron por construir un banco con un geotextil no tejido y Geomallas BX Tensar. Este ejemplo permitió construir una calle con un área más compacta, con menor relleno y menos efecto del impacto del lago en ella.

1.3. Definición del problema seleccionado

Debido a la degradación paulatina y a la falta de mantenimiento oportuno de las carreteras con pavimento flexible se presentan actualmente problemas importantes. La mayoría de ellas presentan fracturas debido a la fatiga provocada por la sobrecarga, así como por las cargas de tensión, la humedad y los incrementos de temperatura en las capas asfálticas. Con el fin de reducir los costos logísticos y generales de los viajes para los usuarios, las 15 rutas troncales de la red de carreteras, que suman 19,245 kilómetros de longitud, necesitan ser actualizadas inmediatamente o construirse otras nuevas. De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2019), 57% de la infraestructura física de la red federal libre de peaje se encontraban en condiciones deficientes al cierre de 2018.

De manera análoga, las fallas estructurales y los desprendimientos del pavimento ocasionan mucha deficiencia en la transitabilidad vehicular, es pues, una molestia constante para los usuarios del sistema carretero de México y se ha convertido en un problema social, pues repercute directamente con el confort de las personas. Además, el presupuesto para la construcción y conservación de carreteras es limitado por lo que también se convierte en un problema económico.

Investigaciones previas (Ayala Salvador, 2021), presumen que el asfalto soportado por geomallas es más práctico, ya que cumplen con las circunstancias fundamentales como la resistencia del suelo y la transitabilidad en la estructura,

asegurando la vida útil con la que fue diseñada. Por lo tanto, el apoyo de un asfalto con geomallas es una opción oportuna para su utilización en obras comunes, lo que asegura eficiencias de trabajo superiores al 90% para el desarrollo de calles. El proyecto de un asfalto modificado construido con geomallas garantiza la estabilidad del suelo y una mayor transitabilidad vehicular, ya que actúa sobre la forma de comportamiento subyacente y aumenta su vida útil, logrando una mayor dispersión de las cargas superficiales, diseminándolas en una región mayor y disminuyendo así la recurrencia de los apoyos.

También, otras investigaciones (Tolentino Hipolo et al., 2021) consiguieron con la técnica habitual, un espesor de mejora de 0,4 m, para una subbase de 0.20 m y una base de 0.20 m y utilizando dos tipos de geomallas biaxiales como son: MacGrid EGB 30 Kn y MacGrid EBG 20 Kn, el espesor de la capa de mejora fue disminuido al 100%, debido a su alta rigidez y en la estructura asfáltica fue disminuido en un 5%, impactando en la optimización del gasto completo.

Es importante mencionar que la investigación en nuestro país en términos de mejoramiento de las superficies del pavimento es escasa por lo que se siguen utilizando los métodos tradicionales de construcción y conservación de carreteras.

Mediante este estudio, se determinará si el uso de las geomallas permite mejorar la calidad de las vías, específicamente a aquellas que son de pavimento flexible y se podrá conocer el resultado de utilizarlas para el mejoramiento estructural de los pavimentos a través de una tecnología moderna.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Hipótesis

La implementación de geomallas en la construcción de pavimentos flexibles permite que estos tengan una menor deformación permanente, así como un impacto positivo en la economía de los trabajos de construcción, y conservación de carreteras.

2.2. Marco histórico y contextual

Los artículos fabricados con filamentos poliméricos termoplásticos y utilizados en aplicaciones geotécnicas se conocen como geosintéticos. Se utilizan en muros de contención, protección de playas y arroyos, vías de ferrocarril, oficinas de minería, lagos, embalses, taludes, lugares de desintegración, canales y otras estructuras. Las capacidades asociadas de desprendimiento, soporte, filtración, infiltración y seguridad son siempre satisfechas por los geosintéticos. Los criterios del geotextil, que serán mecánicos, de conducción de agua y de solidez, están relacionados con cada obra. Con la invención de las carreteras, ha persistido el concepto de soportar los suelos con diversos materiales.

Según Villegas Silva (2019), existen evidencias de que el concepto de suelo reforzado, que implica el anclaje de un componente en el suelo para utilizar sus propiedades mecánicas, fue utilizado en el pasado. Los babilonios utilizaban ramas de palmera tejidas para construir los muros de sus enormes torres, y los chinos, que construyeron su muralla hace 2000 años, apoyaban la tierra y la arena en determinados lugares con ramas. Otro tipo de apoyo en tierra se utilizó también en la Fuerza Naval Inglesa en el siglo XIX. En este caso, estudios precisos demostraron que el uso de capas planas de madera u otro material durante la construcción pueden disminuir la tensión lateral en los muros de contención. Hoy en día, las características reguladas, el comportamiento homogéneo y la gran resistencia hacen de las geomallas y los geotextiles los materiales perfectos para el sostenimiento del suelo.

El uso de pieles de animales para disgregar suelo sensible de la estructura superior mientras las capas de arena o roca ofrecían suficiente filtración para prevenir el almacenamiento del agua y reducir la tensión intersticial fue otro enfoque de desarrollo reciente, según Orrego Cabanillas (2014). Ampliar la capacidad de carga de los suelos sensibles ha sido una preocupación humana válida desde los albores de la humanidad. Uno de los métodos para conseguirlo es sujetar la tela horizontalmente al tiempo que se le da flexibilidad. En el pasado, se utilizaban troncos opuestos o ramas trenzadas para conseguirlo; sin embargo, en la

actualidad, las geomallas y geoceldas son los materiales más utilizados para el control lateral y la flexibilidad.

El primer esfuerzo por utilizar fibras sintéticas en el soporte de una construcción de pavimento se realizó en 1926, según Díaz et al. (2019). La División de Carreteras de Carolina del Sur, en Estados Unidos, patrocinó esta investigación. La capa de cimentación de asfalto modificado se cubrió con una capa gruesa de algodón absorbente retentivo como parte de la operación preparatoria. A continuación, la fibra se cubrió con un revestimiento negro caliente y se protegió con una fina capa de arena. Una investigación demostró en 1935 logró reducir fallos localizados, una gran trabajabilidad antes de que la fibra se desintegrara por completo y se presentaran agrietamientos en la construcción. Las Fuerzas Armadas de EE.UU. emplearon geoceldas para contener la arena colocada durante la Guerra del Golfo con el fin de aumentar rápidamente la adaptabilidad de sus hombres. Gracias al aumento de la capacidad portante, fue posible construir más rápida y eficazmente carreteras de acceso para camiones más grande.

2.3. Estado del arte

El crecimiento socioeconómico del país depende en gran medida de sus infraestructuras viales, consideradas como medios de transporte principales de mercancías en México. En consecuencia, es fundamental modernizar la red de carreteras con mejoras que aumenten la calidad y durabilidad de las calzadas. Como resultado, el uso de geosintéticos ha aumentado recientemente en Europa, Norteamérica y ciertas regiones de Sudamérica. A continuación, se presentan algunos estudios de investigación sobre el uso de geosintéticos:

MohammadReza S. y Nader G. promovieron en 2021 la viabilidad del uso de geomallas sobre una subrasante elástica en una construcción asfáltica modificada, diseñada para disminuir el espesor de la base. Crearon seis moldes para una investigación, que se realizó en el centro de investigación utilizando un molde de acero redondo y hueco, en los que vertieron mezcla asfáltica; los investigadores utilizaron identificaron un determinado tipo de construcción de asfalto y variaron la

geomalla (triaxial y biaxial), el espesor y el área de la geomalla. Se consideraron celdas de presión para determinar las cargas ascendentes en el punto de conexión entre la base y la subrasante. También se utilizó un transformador diferencial de factor recto para filtrar la escasa profundidad de zanja de los segmentos de prueba y para determinar el comportamiento de la geomalla sobre el asfalto. Además, se realizaron cargas cíclicas con incrementos lineales de carga de 2,2 KN a 40 KN durante 1,3 segundos, durante los cuales se midieron la profundidad de la zanja poco profunda. Según las conclusiones de este estudio, los dos tipos de geomallas del asfalto adaptable redujeron las tensiones verticales y el ahuellamiento superficial en el punto de conexión entre la subrasante y la base. La introducción de geomallas disminuyó (7%) el espesor de la capa base con una geomalla triaxial y en un 6% con una geomalla biaxial, respectivamente. Mientras que el soporte de geomalla triaxial sufrió menos tensiones en comparación a la geomalla no reforzada y biaxial. Además, se descubrió que utilizar geomallas aumentaba el número de aplicaciones de carga de 1,5 a 7,5; para una igual profundidad de ahuellamiento.

En la revisión realizada por los doctores J.P. Giroud y Jie Han (2004), estos intentaron desarrollar y validar una técnica de planificación considerando los enfoques anteriores; pero utilizando factores trasendentes como son las propiedades de los componentes de la capa granular y el soporte, debido a la escasez de pruebas y datos de campo. Los investigadores Giroud y Han realizaron pruebas de presión, entrelazamiento entre el material geosintético, resistencia del material para la capa base y el material de la capa base y firmeza geosintética, junto con todas las limitaciones adicionales consideradas en las técnicas anteriores. Como resultado, "el nuevo método permite conocer con mayor precisión los límites de los geotextiles y estimar mejor su respuesta" (Giroud Han, 2004, p.5). El modelo, sin embargo, "se ha alineado utilizando los resultados de un programa de evaluación establecido deliberadamente por Gabr en 2001, realizado en el North Carolina State College" (Giroud Han, 2004, p.5). Tras la alineación, el método se evaluó con base a otras evaluaciones. Giroud-Han (2004) llegó a la conclusión de que, que propiedades como el tipo de geomalla, el módulo de estabilidad de la abertura, la forma de la nervadura, el grosor de la nervadura, el tamaño de la abertura y la forma

de la junta tienen cualidades similares a las utilizadas en el ajuste y la aprobación del modelo; esta nueva técnica presenta nuevos límites en el plan y crea previsiones precisas de la ejecución sobre el terreno de las geomallas. Por lo tanto, es crucial ser consciente de los resultados cuando se utilizan geomallas pueden ser muy variables.

Por otra parte, la revisión creada por el Cuerpo de Arquitectos de las Fuerzas Armadas de EE.UU. (USACE, 2003), evidencia que el ETL-1110-1-189, retrata las capacidades, aplicaciones, usos y componentes de apoyo de las geomallas en estructuras de asfalto adaptables, incluyendo ilustraciones de planos, detalles de artículos y dirección de desarrollo. Las geomallas utilizadas dentro de una estructura asfáltica desempeñan la función esencial de soporte al aportar una mejora mecánica a las propiedades de diseño de la estructura asfáltica. Además, "los tres propósitos esenciales de una geomalla en una estructura asfáltica son (a) actuar como ayuda al desarrollo sobre subrasantes delicadas, (b) desarrollar aún más la vida útil de la construcción y, (c) disminuir la sección transversal del asfalto" (USACE, 2003). Así mismo, la geomalla en pavimentos presenta dos aplicaciones como son: ajuste de la subrasante y soporte mecánico en la capa granular. Su uso está predeterminado por la resistencia del suelo de apoyo, por ejemplo, las condiciones regulares del terreno.

Según Gavilanes N. (2012), realizaron una investigación donde se realizó en un segmento de 100 m de vía Latacunga-Zumbahua-La Maná, esta vía es parte de la red estatal de Ecuador. Como el análisis del suelo descubrió suelos con la presencia de un nivel freático poco profundo, lo que presenta un desafío al realizar el diseño estándar del pavimento, se suspendió el examen de este trozo. Con el fin de comparar el plan de construcción estándar de pavimento negro y el mantenido con geomalla biaxial aplicada a la porción investigada, este estudio hace precisamente eso. La selección de la extensión en los extremos portantes de la subrasante y, por lo tanto, el espesor de las capas que los forman aún en el aire, fue asistida por el levantamiento, valoración y organización de un movimiento de puntos de corte. (Gavilanes, 2012) explica que, si bien los pavimentos de geomalla biaxial ofrecen

una expansión en las porciones portantes más alejadas de la subrasante, sus espesores constructivos difieren del diseño habitual. Además, debido a la presencia de la geomalla en la subrasante, las tensiones del tránsito rodado se transmiten mejor allí, y la subrasante puede soportar menos cargas con menos deformaciones resultantes, lo que se traduce en una mayor calidad del pavimento durante toda su vida útil. Además, debido a que se necesita menos equipo para la expulsión, transporte y cimentación de la geomalla y los materiales, la geomalla como material de asentamiento garantiza que se mantendrán los apoyos en material, obra y equipo (Gavilanes, 2012).

Para evaluar el empleo de geomallas como soporte en bases granulares de una estructura asfáltica flexible como alternativa viable económicamente, pero sin disminuir el límite subyacente de la calle, Orrego Cabanillas A. (2014) presentó un experimento sobre el tema. Se proyectó un asfalto utilizando tres técnicas diferentes. Según la AASHTO (1993), el primer segmento es convencional o no reforzado, mientras que las dos últimas zonas se construyen utilizando geomalla biaxial y multiaxial por separado. Según (Orrego, 2014), los espesores alcanzados en segmentos no reforzados son más significativos que los segmentos que han sido reforzados, típicamente un 35% más significativos para las geomallas biaxiales; pero para geomallas multiaxiales aumento a una 45%. El coste de las fuentes de datos y el coste final de la realización de los tres análisis contextuales mostraron una notable disparidad desde el punto de vista financiero. Según (Orrego, 2014), el coste debe ser mayor para que las opciones de soporte de geomallas resulten prácticas, incluso cuando el espesor de la capa de cimentación granular disminuye.

2.4. Marco teórico

2.4.1. Definiciones y conceptos

2.4.1.1. Pavimentos

Se trata de un sistema de capas hechas de una sustancia específica que absorbe instantáneamente las tensiones vehiculares provocadas por la circulación vial y que

se distribuyen a las capas inferiores, produciendo un área que debe ser a la vez práctica y atractiva para los clientes. La estratificación del asfalto tiene un beneficio económico que resulta de un plan, ya que, al determinar los grosores de las capas, el objetivo es proporcionar a la base un grosor respetable que disminuya los pesos sobre la capa inferior. Junto con el material que compone cada capa, dos características cruciales como la compactación y la adherencia también influirán en la adherencia de las distintas capas. (Caballeros Torres, 2016).

2.4.1.2. Subrasante

La subrasante es capa de suelo normal de un pavimento, que sostiene la estructura asfáltica, se extiende a una profundidad tal que no se ve afectada por la carga relativa al tránsito normal. El grosor de toda la estructura asfáltica depende de su capacidad de carga. Se considera la base de la estructura asfáltica. (Caballeros Torres, 2016).

2.4.1.3. Subbase

Capa de materiales pétreos elegidos colocada en la parte superior de la subrasante, cuyas capacidades principales son ofrecer una ayuda uniforme para la base de pavimento asfáltico, sirve para soportar los esfuerzos que envía, disminuyendo las cargas y dispersándolas suficientemente a la capa por debajo, y prevenir el movimiento de finos a las capas por encima. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2011)

2.4.1.4. Base

Capa de materiales pétreos que son cuidadosamente seleccionados que se coloca sobre la subbase o subrasante, base y cuyas funciones principales son soportar el pavimento, la capa de rodadura superior (capa de base), las cargas que estos elementos le transmiten reduciendo las tensiones y distribuyéndolas adecuadamente a la capas inferiores, finalmente dan estructura y rigidez necesaria para evitar deformaciones en la parte superior asfáltica. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2011).

2.4.1.5. Carpeta asfáltica flexible

Los cimientos de la estructura de asfalto modificado están protegidos por una capa de material pétreo cuidadosamente elegido y emulsión asfáltica, que impermeabiliza el área y evita la intrusión de agua que podría sumergir totalmente o parcialmente los niveles inferiores de la construcción del pavimento. (Ver Fig. 1) Así como evitar el desgaste y desintegración de la base por el tránsito vehicular al que sirve. (Vargas Jiménez, 2017).

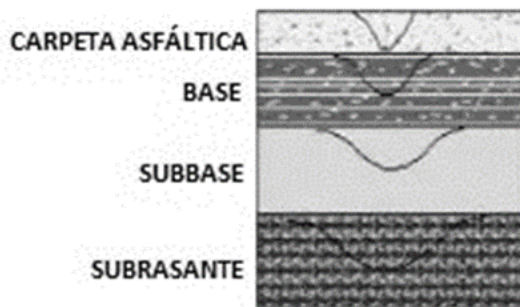


Fig. 1. Estructura tipo de pavimento flexible (Vargas Jiménez, 2017).

2.4.1.6. Geosintéticos

El prefijo "geo", que alude a un uso laboral en la exposición de obras de diseño estructural relacionadas con la urbanización de tierras o suelos, y el sufijo "sintético", que alude a la forma en que los materiales o artículos son, a todos los efectos, fabricados por el hombre, constituyen las dos partes del término "Geosintéticos".

Los geosintéticos, que pueden adoptar la forma de canal, manta, lámina o estructura de tres capas y se utilizan en unión con otros materiales y con el suelo en el ámbito de la urbanización o el diseño estructural, son objetos en los que una parte de sus componentes depende de un polímero natural o sintético. Los geosintéticos se utilizan en diversas aplicaciones relacionadas con la construcción y el desarrollo, como la construcción de carreteras, en la hidráulica, en el control de la erosión y el paisajismo. Las técnicas de expulsión, la innovación de materiales y los avances tanto materiales como plásticos son los principales componentes de la fabricación

de geosintéticos. Los geosintéticos se crean a partir de filamentos sintéticos, en su mayoría compuestos de polímeros como el polietileno, la poliamida, el polipropileno, y el poliéster y, siendo los dos últimos los más utilizados. Los materiales geosintéticos más conocidos y utilizados en la industria del diseño son las geomallas, geotextiles, geocompuestos, geomembranas y los revestimientos para el control de la desintegración, que se crean combinando sus respectivas propiedades y características. Existen métodos para aumentar la capacidad de los suelos sensibles para soportar cargas. Uno de ellos, aunque anticuado, sirve para ayudar al confinamiento limitando horizontalmente las partículas de material y aumentando su rigidez. Normalmente, se colocaban troncos opuestos o se utilizaban ramas entrelazadas para lograr estos efectos. En la actualidad, gracias a la innovación, es posible utilizar productos manufacturados, diseñados expresamente para obtener un efecto de confinamiento horizontal y una flexibilidad comparables a los métodos anticuados. (Kumar Shukla et. al, 2016).

2.4.1.7. Caracterización del Polipropileno

El polímero termoplástico polipropileno (PP), parecido al vidrio, se crea a partir del propileno. Pertenece a la familia de las poliolefinas, que se utiliza en diferentes aplicaciones, como: películas, materiales, equipos de laboratorio y envasado de alimentos. Las sales, los ácidos y un gran número de disolventes sintéticos no le afectan en absoluto. Una cadena primaria de iones de carbono conectados constituye las partículas de PP, y a cada lado de esa cadena principal se mantienen grupos metilo (CH_3). Cuando se encuentran al mismo lado los grupos metilo (todos), se dice que el polipropileno es "isotáctico", "sindiotáctico" o "atáctico". Pero, cuando no hay un requisito obvio para los grupos metilo, el polímero es "atáctico". Las características del PP se ven influidas significativamente por la tacticidad de sus átomos (Kumar Shukla et al, 2016).

2.4.1.8. Estructura química

El polímero de respuesta en cadena PP se define por su mecanismo de polimerización ("polímero de expansión" según la antigua clasificación de

Carothers). Es un polímero vinílico formado por una cadena principal de átomos de carbono y, más concretamente, una poliolefina debido a su construcción sintética.

2.4.1.9. Tacticidad

La cadena primaria de moléculas de carbono enlazadas que compone las partículas de PP tiene grupos metilo (CH₃-) fuertemente unidos a ambos lados de la cadena. Hablamos de "polipropileno isotáctico" cuando los grupos metilo (todos) se encuentran en el mismo lado; de "polipropileno sindiotáctico" cuando están girados hacia un lado u otro; y de "polipropileno atáctico" cuando no hay una solicitud clara de los grupos metilo.

2.4.1.10. Propiedades

El PP isotáctico es notablemente análogo al polietileno, con la excepción de las siguientes características: densidad reducida con un peso específico de 0,9 g/cm³ a 0,91 g/cm³, frente al rango de 0,915 a 0,935 del LDPE (polietileno de baja densidad) y el de 0,90 a 0,97 (gr/cm³) del HDPE (polietileno de alta densidad).

- Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Propiedades Mecánicas del Polipropileno.

Propiedad	Unidad	Pp	Pp	Comentarios
		homopolímero	copolímero	
Módulo Elástico en Tracción	Gpa	1.1 - 1.6	0.7 - 1.4	
Carga de Ruptura en tracción	MPa	31 - 42	28 - 38	
Alargamiento de Ruptura en Tracción	%	100 - 600	450 - 900	En conjunto con el polietileno presenta una de las más altas.

Propiedad	Unidad	Pp	Pp	Comentarios
		homopolímero	copolímero	
Módulo de Flexión	Gpa	1.19 - 1.175	0.42 - 1.40	
Dureza Shore	D	72 - 4	67 - 73	Es menos fuerte que el poliestireno o PET, pero mas fuerte que el polietileno.

- Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Propiedades Térmicas del Polipropileno.

Propiedad	Unidad	Pp	Pp	Comentarios
		Homopolímero	Copolímero	
Temperatura máxima de uso continuo	°C	100	100	Es inferior al PET, HDPE y plastico de ingeniería; pero, superior al PVC.
Temperatura de fusión	°C	160 - 170	130 - 168	> al polietileno.
Temperatura de transición vítrea	°C	-10	-20	

2.4.1.11. Geomallas biaxiales

Las geomallas biaxiales son construcciones de dos capas que se alimentan mediante una interacción de expulsión y luego se estiran longitudinal y dinámicamente. Están construidas con polipropileno sintético 100% latente, son uniformes y homogéneas en calidad y tienen dos capas. Los componentes básicos para su ensamblaje son poliéster, polipropileno y polietileno de alta densidad. Se

construyen a partir de un plano de juego uniforme rectangular o de tres lados que forma una estructura que faculte que el suelo atraviese el plano. Según su método de montaje, existen tres tipos: soldadas, tejidas o expulsadas.

Las geomallas soldadas suelen estar compuestas por hilos o tiras de poliéster multifilamento termofusionados entre sí y recubiertos de un polímero para proteger el material del núcleo de la intemperie (básicamente, la radiación UV). Por lo general, consiguen atributos muy superiores a los de las demás geomallas.

Según cómo se utilicen o cómo logren sus objetivos en las actividades de diseño, se dividen en:

- Unidireccionales o Uniaxiales
- Bidireccionales o Biaxiales
- Multidireccionales o Triaxiales

Por un lado, las geomallas uniaxiales tienen la mayor obstrucción en la dirección longitudinal y un poco en la otra dirección, pero las biaxiales contienen protecciones estrechas, estos dos tipos de geomallas pueden distinguirse entre sí. Todas las geomallas son técnicamente biaxiales, ya que presentan oposición tanto en las nervaduras longitudinales como en las opuestas (estas nervaduras son un elemento del pivote de fabricación de la geomalla).

Al promover las fuerzas de deformación en el plano del material, las geomallas biaxiales pueden reducir algunas de las cargas generadas durante el desarrollo mediante sistemas de asociación con el suelo y los materiales pétreos.

2.4.1.12. Las geomallas en las vías carreteras

Cuando se utiliza geocompuesto, se disminuye la resistencia al movimiento, y las geomallas se emplean para crear una condición robusta, incluso en materiales granulares. Para crear un armazón con mayor prominencia de firmeza y solidez que

un suelo sin apenas componentes que soporten estas cargas. La geomalla combina la tensión de la geomalla con la resistencia a la compresión del suelo. Cuando se somete a cargas tanto dinámicas como estáticas, la capacidad de la geomalla para distribuir la fuerza por toda su superficie aumenta la capacidad de resistencia a la remoción del diseño. En carreteras sin pavimentar como en estructuras asfálticas adaptables y sin flexión, la geomalla incrementa la flexibilidad de las capas de base, lo que las hace buenas para el soporte del suelo (Tenax, 2016).

2.4.1.13. Proceso de fabricación de las geomallas

Se perfora una lámina de polipropileno y constantemente se extiende para crear mallas continuas de alta resistencia a la tracción, que luego se utilizan para fabricar geomallas biaxiales y multiaxiales. El método de producción es el mismo para las geomallas de polietileno y polipropileno. En primer lugar, el material se forma en láminas con perforaciones cuadradas o elípticas uniformemente espaciadas. Dependiendo de la aplicación, la lámina perforada se estira a continuación en una o ambas direcciones mientras se somete a temperaturas y tensiones controladas para prevenir fractura en el material y garantizar que las moléculas estén alineadas en la dirección de alargamiento.

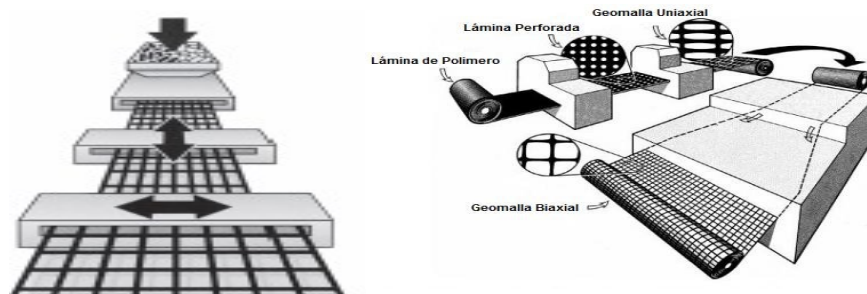


Fig. 2. Proceso de fabricación de las geomallas coextruídas (Netlon Limited, 2019).

Aunque hay muchos factores que se tienen en cuenta a lo largo del proceso, como el peso y distribución del molecular, la velocidad del proceso de alargamiento es el más crucial. Las mejoras en el proceso de producción han aumentado la resistencia y el módulo del material, y se ha establecido una relación del 100% entre la tensión

en la resistencia a la tracción de las costillas y los nodos, lo que garantiza el rendimiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

2.4.1.14. Caracterización de geomallas biaxiales

Las geomallas biaxiales presentan numerosas ventajas cuando se emplean y colocan durante el diseño de pavimentos flexibles, como las que se menciona a continuación:

1. Se limitan los laterales de la base o subbase.

Esto es posible gracias a que la geomalla y el agregado interactúan entre sí en fricción (Fig. 03). Debido a que el módulo de resiliencia de los materiales granulares depende del nivel de tensiones, un aumento del confinamiento lateral se traducirá en un aumento del módulo de la capa granular sobre la geomalla.

2. Aumento de la capacidad portante.

Esto se consigue desplazando el área de fallo del sistema de la delicada subrasante a la capa granular, mucho más robusta (Fig. 04). Este proceso suele funcionar eficazmente en carreteras de tierra o cuando la subrasante está sometida a mucha tensión.

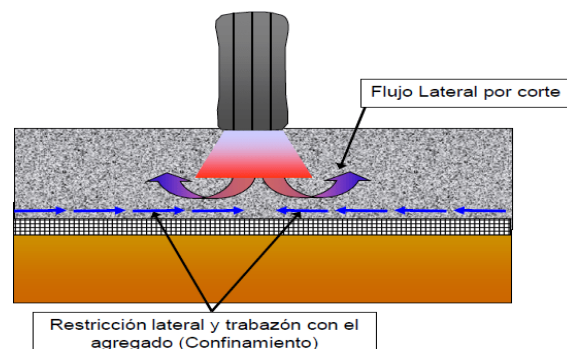


Fig. 3. Mecanismo de reforzamiento de confinamiento lateral (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).

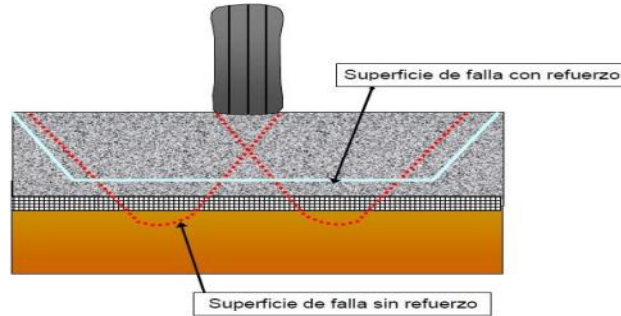


Fig. 4. Mecanismo de reforzamiento de capacidad portante (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2003).

2.4.1.15. Membrana tensionada

Este fenómeno se produce cuando un material flexible alargado adopta una forma curvada bajo carga porque la tensión normal en su cara cóncava es mayor que la tensión en su convexa. Es decir, que, cuando se aplica una carga, la tensión vertical de la geomalla con respecto a la subrasante es menor que la tensión vertical con respecto a sí misma. Sin embargo, solo niveles muy altos de deformación, como los que se observan en las carreteras de tierra luego de varias repeticiones de carga vehicular, son capaces de provocar que se produzca este proceso. En consecuencia, el confinamiento lateral es la estrategia más crucial para la construcción de carreteras.

2.4.1.16. Geomallas Multiaxiales

Estas geomallas se fabrican integralmente y actúan como principal refuerzo de tracción para bases de asfalto y pavimentos. Esta geomalla coextruida triaxial supone una mejora significativa con respecto a los tipos de geomalla existentes. Cuando se trata de estabilizar suelos en subrasantes con niveles freáticos altos y suelos saturados, este geocompuesto tiene un rendimiento muy bueno. Siendo la próxima generación de geomallas de capas estabilizadas mecánicamente de alto rendimiento para aplicaciones de tránsito, la geomalla triaxial supera a las

geomallas axiales y biaxiales en términos de mayor confinamiento e interacción de partículas de material pétreo. La forma triangular se utiliza para la sección de las nervaduras, el grosor, tamaño de la abertura, eficacia de las juntas, y la crucial rigidez en el plano (360°).

Las geomallas triaxiales triangulares contrarrestan las tensiones en todas las direcciones y distribuyen las tensiones radiales en el plano de la geomalla. Dado que transfieren las tensiones de forma más consistente que las geomallas biaxiales, su comportamiento es el deseable. Esto se traduce en menores presiones en la subrasante y capas de cimentación más delgadas. Así mismo, mejoran el confinamiento y la interacción de los materiales pétreos, lo que potencia el rendimiento estructural de la capa estabilizada. Mediante una investigación considerable, se han identificado las siguientes características principales de la geomalla:

1. El perfil de la sección de costillas.
2. Espesor de la costilla.
3. La eficacia del nudo y de la unión (TENSAR, 2020).

2.4.1.17. Caracterización de geomallas triaxiales

Sus características multidireccionales proporcionan un mayor grado de rigidez axial mediante el uso de la geometría triangular, una de las técnicas de construcción más fiables (rigidez en el plano). Junto con la mejora de la luz y la eficiencia de las nervaduras, la conversión de una entrada rectangular en una triangular en un centro comercial presenta a la industria de la construcción, una opción de material superior y un avance sobre las técnicas existentes. La vida útil del pavimento se ha prolongado gracias a esta técnica, que también ha optimizado el tamaño de sus elementos constitutivos y lo ha estabilizado en condiciones de suelo blando.

2.4.1.18. Distribución de cargas

En cada nivel del agregado la distribución de la carga funciona de forma radial y tiene lugar en tres dimensiones. Por lo tanto, para estabilizar una capa, esta debe ser capaz de transferir la carga uniformemente a lo largo de su perímetro. Por ende, debe funcionar de forma óptima, así pues, el refuerzo de geomalla genera una alta rigidez radial a lo largo de los 360° debido a la distribución de la carga por medio de los neumáticos de la capa estabilizada mecánicamente (Lizárraga, 2013).

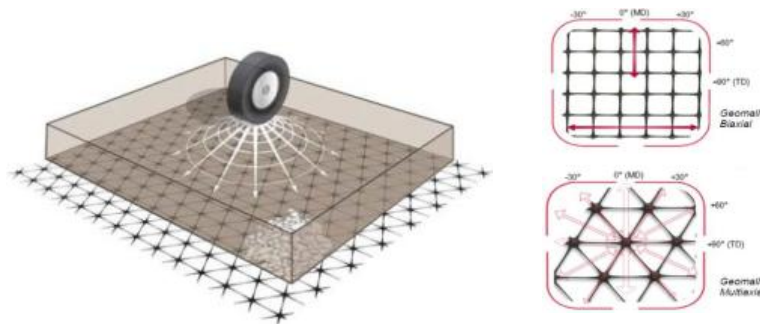


Fig. 5. Distribución de esfuerzos con la geomalla Multiaxial y biaxial (TENSAR, 2020).

2.4.1.19. Integridad de las uniones de las geomallas

Se fabrica a partir de una lámina de polipropileno extruido que se ha estirado tras perforarla con una rejilla de agujeros. El resultado final de este procedimiento y del diseño de la junta es un producto con una gran resistencia y rigidez de unión.

2.4.1.20. Uniones monolíticas de las geomallas

Las láminas de polipropileno extruido se utilizan para fabricar geomallas triaxiales, que luego se estiran y se perforan con orificios para formar la estructura. Gracias al método de fabricación de Tensar, en combinación con el diseño de las juntas, se obtiene un producto resistente en juntas monolíticas y de gran rigidez.



Fig. 6. Nodos y unión de geomallas Multiaxiales (TENSAR, 2020).

2.4.1.21. Eficiencia de las juntas de las geomallas

Se han realizado pruebas exhaustivas en cada una de las tres direcciones de las nervaduras. El fenómeno de "enclavamiento", o bloqueo mecánico, de las partículas de materiales pétreos gruesos que permanecen restringidas en la abertura se debe a la rigidez de las nervaduras y a las juntas de alta resistencia que se encuentran en la geomalla. En comparación con las nervaduras con un perfil estrecho, una forma rectangular o un perfil redondeado, las nervaduras con un perfil grueso son más eficaces. Las costillas tienen una forma rectangular con un borde cóncavo que es ideal para una gran anchura.

2.4.1.22. Mejoramiento de la capacidad de carga

Las ventajas de rendimiento de la geomalla triaxial frente a las geomallas biaxiales, se ha investigado en varios experimentos y ensayos en universidades como NTU y, en el Laboratorio de Investigación del Transporte a mayor escala, se realizaron ensayos de tránsito como parte de las pruebas (TRL). Como parte del procedimiento de ensayo, se realizaron pruebas de campo, capacidad de carga y evaluación de daños en la instalación. Se probaron varias geomallas triaxiales y biaxiales a lo largo de 10.000 pasadas en varios niveles de la capa base. Los resultados revelaron de forma inequívoca las ventajas estructurales que ofrece la geomalla triaxial al

demostrar que las deformaciones de la rueda de rodadura eran menores para las geomallas triaxiales, (TENSAR, 2020):

- Mayor rendimiento y confinamiento de materiales pétreos de una capa estabilizada mecánicamente.
- Aumento del tránsito en relación con un determinado espesor de la sub-base.
- Disminución del espesor de la sub-base para una determinada carga de tránsito.

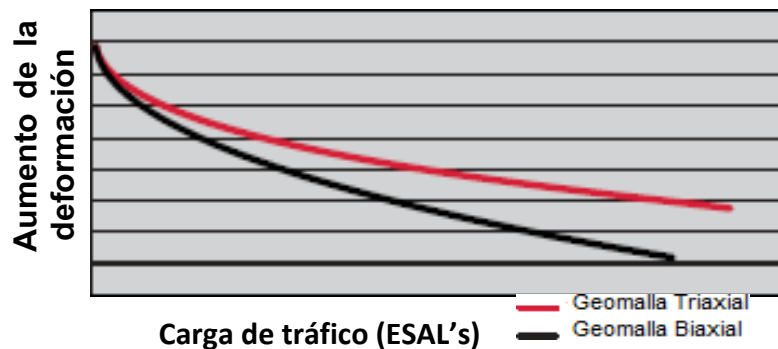


Fig. 7. El desempeño de geomallas dependiendo carga.

El Laboratorio de Investigación del Transporte ha realizado otras investigaciones (Reino Unido). Para cuantificar el ahuellamiento en la fibra superior de la subrasante, en uno de los experimentos se retiraron las capas de base y geomalla. En la Fig. 08., se muestran los resultados físicos del experimento. Se ha demostrado que las series de geomallas de tipo triaxial minimizan en gran medida las tensiones en la subrasante y experimentan una mejora considerable en el fallo por deformación permanente de la subrasante.



Fig. 8. Reforzamiento de la subrasante con geomalla triaxial y biaxial.

2.4.1.23. Funciones de la geomalla de fibra de vidrio

Su finalidad fundamental es reforzar la resistencia a la tracción de la capa asfáltica y asegurar que, a cargas verticales, las tensiones horizontales se distribuyan uniformemente por una mayor superficie, lo que da como resultado una carretera libre de grietas durante varios años. Las geomallas flexibles de fibra de vidrio se utilizan en refuerzos de concreto asfáltico en carreteras, autopistas, andenes, aparcamientos y otras zonas de alto y bajo tránsito para evitar las grietas por reflexión, las grietas por fatiga y la deformación plástica.

2.4.1.24. Empleo de geosintéticos

Debido al tránsito que acogen, las carreteras están expuestas a fuertes tensiones cíclicas. A lo largo del ciclo de vida útil del asfalto, estas cargas crearán diversas fallas. Siendo la más frecuentes el agrietamiento del pavimento, un fenómeno que permite la acelerada degradación del asfalto en su conjunto. El agua de lluvia puede introducirse en el interior de las fracturas existentes, lo que puede provocar incluso una pérdida gradual y rápida de las propiedades. La presencia de grietas aísla algunas partes del pavimento e impide la transmisión de las tensiones transversales

provocadas por el movimiento del tránsito o los cambios de temperatura. Conocer las causas subyacentes de este problema es crucial para determinar la mejor opción de tratamiento. Es imposible hablar de un tratamiento adecuado para cada tipo de problema.

Estos movimientos pueden ser el resultado de procesos de dilatación-encogimiento relacionados con la temperatura del sustrato granular o de la propia capa asfáltica, deflexiones diferenciales causadas por las cargas del tránsito, o ambos. Estos movimientos hacen que la capa de refuerzo experimente fuerzas de cizallamiento y flexión que pueden ser mayores que las permitidas por el asfalto. Como resultado, el desarrollo de una tensión que, en las regiones situadas por encima de las grietas preexistentes, provocaría su reflejo como resultado de una disminución de la resistencia, podría ser la causa de la creación de una fractura en la capa de refuerzo. Frente a las tensiones coyunturales, el asfalto muestra una gran resistencia debido a la viscosidad del ligante, como la fricción de la estructura mineral y cohesividad del conjunto. Estas tensiones cíclicas a las que es susceptible el asfalto son la causa del reflejo de las grietas. El asfalto es un material especialmente adecuado para la construcción de vías debido a su particularidad (Santalla, 2019).

Dos movimientos diferentes causados por las cargas del tránsito en las juntas y las fracturas provocan tensiones de cizallamiento en el recubrimiento asfáltico. El cambio de temperatura provoca una contracción térmica en las capas de pavimento que tienen juntas o grietas, lo que hace que éstas se abran más gradualmente. Como resultado, la capa asfáltica se somete a tensiones (Francken et al., 2007). La mezcla bituminosa se vuelve cada vez más rígida y quebradiza a medida que desciende la temperatura, lo que aumenta su susceptibilidad al agrietamiento reflejado.

Mediante un análisis pionero se determinó los factores principales que afectan a la fisuración son los esfuerzos de tensión (modo I. Fisuración), que se crea por la contracción por secado de las capas y la disminución de la temperatura. Los esfuerzos de tensión actúan paralelamente al plano de la grieta. Como consecuencia de la carga de tránsito, la fibra inferior del recubrimiento experimenta esfuerzos de tensión como resultado de la carga vertical del neumático que se mueve hacia delante y hacia atrás a través de la grieta o junta transversal (Modo II. Agrietamiento) (N. Prieto et al., 2007).

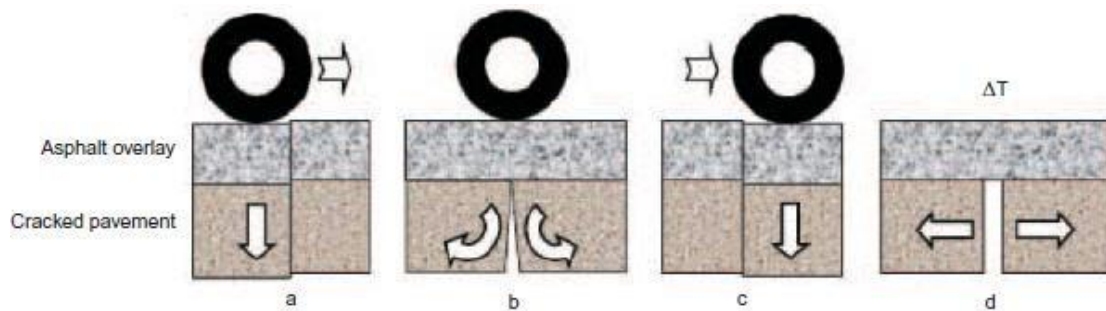


Fig. 9. Formación de grietas en juntas de construcción.

2.4.1.25. Mecanismo de aparición de Fisuras

Al investigar cómo funciona el refuerzo con geomallas en los pavimentos, es esencial comprender el mecanismo que subyace a este comportamiento. El efecto de la carga de la huella del tránsito, las variaciones de temperatura y humedad en la subrasante generan movimientos simultáneos que dan lugar a un complicado estado de tensiones cíclicas de flexión, deformaciones y esfuerzos cortantes en la capa asfáltica.

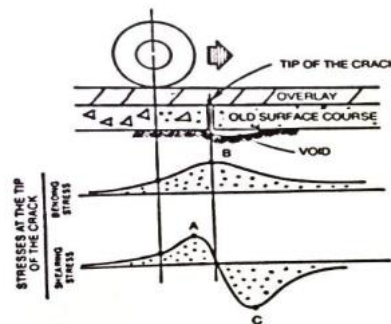


Fig. 10. Tensiones desarrolladas para pavimento fisurado.

Estas tensiones son provocadas por una compleja consecución de movimientos cíclicos en las juntas o fracturas, causados por cargas horizontales, así como verticales, variaciones a corto, mediano y largo plazo y variaciones en el volumen en el subsuelo como resultado de las fluctuaciones de humedad

2.4.1.26. Métodos de Reducción en la Aparición de Fisuras Reflexivas

A través del tiempo, se han utilizado muchas técnicas para reducir la fisuración por reflexión. Desde entonces, se han hecho infinitos intentos de emplear "materiales diseñados" como opción definitiva para disminuir la incidencia de la fisuración reflejada. Roberts enumeró todas ellas en 1996 y las dividió en cuatro enfoques básicos que son los más utilizados sobre el terreno para abordar esta cuestión:

1. Aumento del espesor del asfalto.
2. Aplicación de tratamientos especiales a la superficie afectada.
3. Tratamiento sólo grietas y juntas.
4. Prestar mucha atención al diseño de las capas.

Los geocompuestos para el refuerzo de firmes son soluciones extremadamente competitivas para la reducción del mantenimiento de los firmes, ya que aumentan de forma evidente la vida útil de los mismos, según varios estudios científicos y pruebas de campo (Emmons, 1927).

2.4.1.27. Geosintéticos como sistema antireflexión de fisuras

Se han desarrollado soluciones basadas en geosintéticos para diluir la nueva capa de pavimento y retrasar el desarrollo de fisuras. Los métodos de refuerzo asfáltico son actualmente los más importantes y los más apreciados. Al principio se utilizaron sistemas de disipación de tensiones (SAMI). En este método, la unión de dos capas de asfalto preexistentes contiene un volumen importante de emulsión bituminosa. El objetivo de este método es crear una barrera impermeable y reducir la transferencia de tensiones entre las dos capas del pavimento, no aumentar la resistencia total de la estructura.

Este método funciona mejor cuando se produce una "unión de huecos" entre las capas de asfalto. Esto sólo es posible si el refuerzo lo proporciona una estructura de malla con aberturas. A través del tiempo, el recubrimiento reforzado empezará a fracturarse, pero más lentamente, prolongando así el ciclo de vida útil de la carretera.



Fig. 11. Las grietas migran hacia la sobrecarpeta reforzada con geomalla (TENSAR, 2020).



Fig. 12. Las grietas se reorientan con la superficie en la sobrecarpeta no reforzada (TENSAR, 2020).

2.4.1.28. Prueba de deformación mediante la prueba cargada de Hamburgo

Debido a la facilidad de uso de la prueba de la rueda cargada de Hamburgo y a la estrecha relación de los resultados de laboratorio y de campo, varios departamentos y direcciones de transporte norteamericanos la utilizan para complementar sus diseños de mezclas asfálticas. En la actualidad, varias metrópolis de Estados Unidos utilizan este ensayo como criterio para determinar si aprueban o rechazan las mezclas asfálticas. En la norma AASHTO T 324 no considera la temperatura de ensayo, por lo que cada estado modificó el método para tener en cuenta las condiciones meteorológicas locales. La metodología de ensayo utilizada por los demás estados de la lista es la AASHTO T 324 o una versión modificada de la AASHTO T 324, aunque Texas, Colorado y Montana emplean sus propias normas, Tex -242F, CP-L 5112 y MT-334, respectivamente. Hamburgo, Alemania, define los parámetros admisibles de la mezcla como una deformación permanente de 4 mm y 20.000 pasadas. La valoración del comportamiento de la mezcla asfáltica con ruedas cargadas en Hamburgo Existen diversos criterios en 8 estados de EE.UU. Los siguientes criterios han sido aprobados por varias metrópolis:

En California, Wisconsin y Iowa: sólo consideran la deformación permanente como requisito de aceptación; los otros estados: consideran tanto la deformación permanente como el punto de inflexión. Pero California considera el número de pasadas del punto de inflexión para cada grado PG. Puede ser beneficioso realizar cada ensayo hasta 20,000 pasadas, según Illinois, para obtener más información sobre la susceptibilidad a la humedad.

Las normas de las principales metrópolis de EE.UU. mencionan específicamente que se requiere un número mínimo de pasadas a una profundidad de surco determinada o un número máximo de pasadas a una profundidad de surco determinada. Algunas normativas estatales no especifican una profundidad de roderas concreta, simplemente que se elegirán los criterios en función del grado PG o de las especificaciones (Mohammad L. et al., 2015). La prueba es utilizada por el

Departamento de Transporte de los EE.UU. de America para determinar si una mezcla asfáltica debe ser aceptada o rechazada.

Tabla 3. Especificaciones de departamentos de transporte en Norteamérica (Mohammad L. et al., 2015).

Departamento de Transporte	Temperatura de prueba (°C)	Grado de desempeño (PG)	Especificación	
			Núm. de pasadas	Deformación permanente (mm)
Texas	50	64	10 000	12.5
		70	15 000	
		76	20 000	
Colorado	45	58	20 000 10 000	10.0 4.0 ^c
	50	64		
	55	70		
	55	76		
California	45	58	10 000	12.5
	50	64	15 000	
	55	70	20 000	
		76 o >	25 000	
Montana	44	58	10 000 ^a 15 000 ^b	12.5
	50	64		
	56	70		
Luisiana	50	58	12 000	12.5
		64	20 000	
		70 (OGFC)	7 500	
Illinois	50	58 o <	5 000	12.5
		64	7 500	
		70	15 000	
		76 o >	20 000	
Utah	46	58	20 000	20.0
	50	64		
	54	70		

2.5. Marco legal

En la siguiente tabla, se puede observar la normativa aplicable para proyecto de intervención, así como la descripción de cada una de ellas.

Tabla 4. Normativa aplicable al proyecto.

Normativa	Descripción
Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.	La ley tiene como objetivo principal controlar las actividades de las entidades y dependencias de la administración pública en relación con la planeación, ejecución, diseño, de obras públicas. Así como partidas presupuestarias de gasto, contratación, ejecución y control de las obras.
Reglamento de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.	Mediante el reglamento se pretende fomentar condiciones necesarias para la rápida y estricta aplicación de la Ley de Obras Públicas y Servicios.
Normativa para la Infraestructura del Transporte: (IMT)	Se propone criterios, técnicas y procesos para la correcta ejecución de las obras de infraestructura para el transporte, renovando las leyes técnicas para reflejar los avances tecnológicos y legales realizados en México y en otros países.
La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO).	Incluye procedimientos de ensayo y normativas que se manejan para la planificación y construcción de carreteras en Estados Unidos.

3. PROYECTO DE INTERVENCIÓN

3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de los pavimentos flexibles con el uso de geomallas en las capas de la estructura de los mismos, para verificar su deformación permanente, la diferencia en espesores de las capas con su implementación, así como, su impacto económico.

3.2. Objetivos específicos

- Conocer las propiedades de las geomallas existentes actualmente en el mercado para su aplicación en la construcción y reconstrucción de carreteras de pavimento asfáltico mediante procesos de mercadeo e indagación por medios de comunicación.
- Conocer la deformación permanente de los caminos de pavimentos flexibles utilizando la Rueda Cargada de Hamburgo con la implementación de mallas de fibra de vidrio, con el fin de compararlo con los tradicionales sin refuerzo.
- Determinar si es posible reducir el espesor de las capas del pavimento utilizando geomallas con la metodología AASHTO 93, para reducir los costos de construcción de vías terrestres.
- Determinar teóricamente el comportamiento del diseño de una carretera alimentadora con el fin de verificar los cálculos realizados mediante metodología AASHTO utilizando el programa computacional MacREAD Pavement Design.
- Analizar los costos de construcción involucrados para la sección reforzada con geomalla y la no reforzada con la realización de tarjetas de precios unitarios con el objetivo de comparar.

3.3. Justificación

La transformación socioeconómica de México está directamente relacionada con el estado de su infraestructura de transporte. Un diseño defectuoso o técnicas de construcción deficientes, los daños y el mal uso sufridos a lo largo de la vida útil del

pavimento suelen ser los culpables de la degeneración o el mal estado de las carreteras. El deterioro puede deberse a diversos factores, como el drenaje, las propiedades del suelo, las variaciones meteorológicas o el tránsito intenso. Sin embargo, en muchos casos, la interacción de varios de ellos da lugar a una disminución exponencial de la vida útil de las carreteras, lo que provoca daños graves como deformaciones, fracturas y pérdida de material.

En México no se reconoce generalmente el empleo de estos materiales como refuerzo en la construcción de pavimentos, como un medio de mejoras en los atributos de suelos con poca capacidad portante o capas delgadas de pavimento. Además, se pueden emplear como método de división para sortear la mezcla de varias capas de pavimento, aumentando la vida útil de dichos niveles, o como medio de soporte para permitir la construcción en zonas donde no se puede mover equipo pesado debido a que los suelos están demasiado saturados. Bajo este antecedente es fundamental mejorar las condiciones de construcción y rehabilitación de los firmes flexibles. Este estudio examina cómo pueden utilizarse las geomallas para reforzar la estructura del pavimento e incrementar la capacidad portante, con objetivo de aprovechar eficazmente el suelo. También se sugiere emplear geomallas, como un sistema estructural que ayude a rebajar la base y subbase en el diseño y construcción de pavimentos, reduciendo costos y tiempos de ejecución e, indirectamente, disminuyendo la explotación de canteras para aminorar el efecto medioambiental.

3.4. Metodología

Será de suma necesidad conocer las características y los componentes que poseen estos materiales por lo que será necesario solicitar a los fabricantes de las empresas que existen en México las fichas técnicas de las geomallas con el fin de inspeccionar los aportes y soluciones que brinden al momento de su uso en la construcción o reconstrucción de pavimentos.

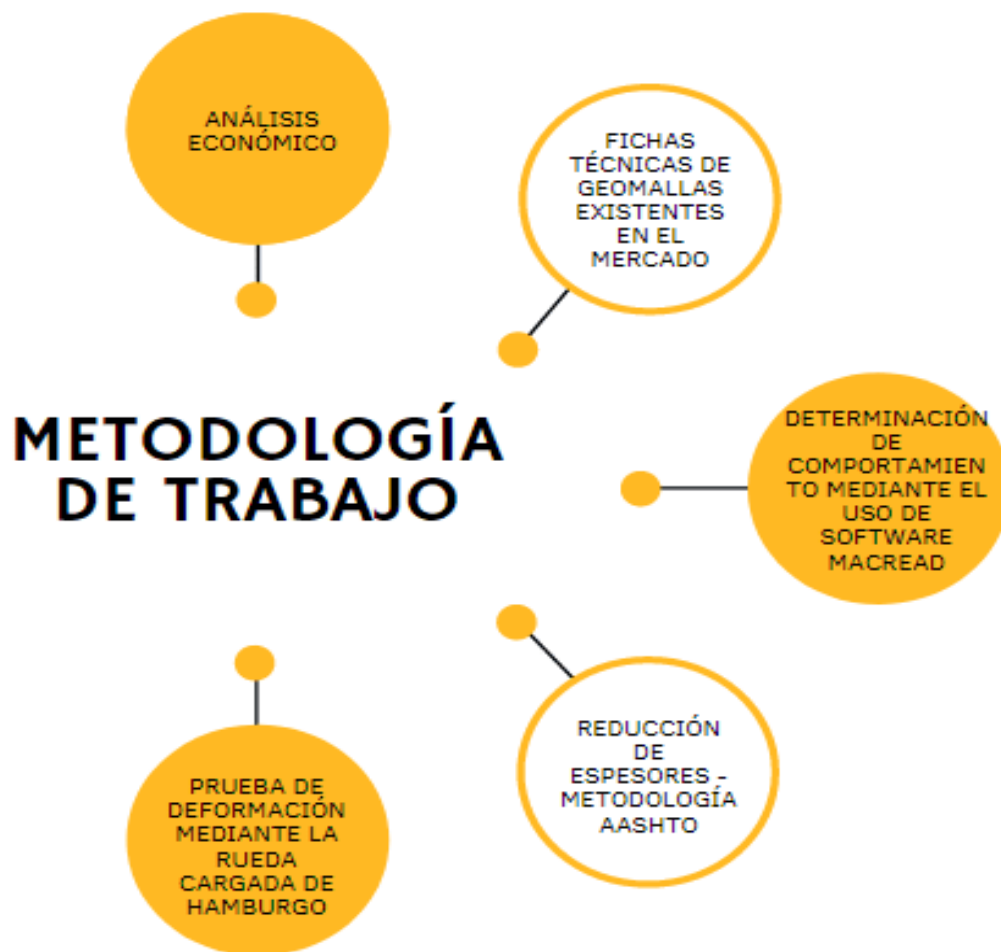


Fig. 13. Mapa mental de metodología de trabajo.

3.4.1. Evaluación mediante la Rueda Cargada de Hamburgo

Para garantizar que el geosintético o conocido también como geomalla de fibra de vidrio, que se utilizará en esta aplicación, funcione según lo previsto y tenga la vida útil adecuada, se debe llevar a cabo el siguiente método de instalación.

3.4.1.1. Condiciones y limpieza de la superficie

El área sobre la que se instalarán los rollos geosintéticos deberá estar moderadamente libre de objetos tales como suciedad, agua y rastros que puedan dificultar la unión entre el ligante asfáltico y el pavimento antiguo.

3.4.1.2. Ligante asfáltico

Se puede utilizar un cemento asfáltico de 60/10 a 70/10 mm de penetración, una emulsión catiónica de rotura rápida de tipo 1, o una emulsión catiónica de rotura rápida de tipo 1 mezclada con polímeros para la porción mínima de asfalto necesaria, como se explicará más adelante. Esto garantizará la correcta adherencia del geosintético a la capa superior; así, como a la base granular existente, base estabilizada, losas de concreto o mezcla asfáltica (refuerzo o mantenimiento).

3.4.1.3. Temperaturas de trabajo

Cuando se trabaja con asfaltos estándar, la temperatura del camión de cemento asfáltico no debe superar los 150 °C; sin embargo, al trabajar con asfaltos modificados, esta temperatura puede aumentar. Los patrones de riego de las emulsiones asfálticas mejoran con el calentamiento. El intervalo de temperatura recomendado es de 55 a 70 grados Celsius. La emulsión puede romperse por encima de 70°C, por lo que no debe superarse esta temperatura.

Se coloca el geosintético antes de que la emulsión se rompa y el agua se evapore cuando se trabaja con emulsiones. Cuando se instala la geomalla de fibra de vidrio, la

temperatura de la superficie de la capa de asfalto debe estar entre 5 y 60 grados Celsius.

3.4.1.4. Instalación del geosintético

Existe maquinaria patentada para colocar los rollos de geosintético, que puede utilizarse manual o automáticamente.

Sin utilizar mano de obra especializada, la instalación se realiza manualmente por un equipo conformado por dos personas desenrollando y manteniendo la alineación del rollo y una persona cepillando el geosintético para en la medida de lo posible eliminar las arrugas. La parte no fusionada del geotextil debe estar siempre en contacto directo con el aglutinante y sin arrugas.

Para favorecer un mayor adhesión o contacto del geosintético con el ligante y con la capa anterior y acelerar el ritmo de eliminación de las arrugas, se pueden emplear instrumentos mecánicos, como el compactador de neumáticos, directamente sobre el geosintético en una sola pasada y a velocidad moderada. No es imprescindible utilizar clavos o chinchetas para fijar el geosintético a la capa anterior; los clavos sólo pueden utilizarse al principio de un rollo de geomalla de fibra de vidrio.



Fig. 14. Instalación del geosintético en vías públicas (TENSAR, 2020).

3.4.1.5. Instalación de geomallas biaxiales para muestra

La base de las capas de base geosintética y de nivelación debe ser sólida, por lo que se ofrecen las siguientes sugerencias. Una vez colocada la capa de adherencia continua, se debe compactar la base granular para saturar la geomalla de manera uniforme y completa y dejarla lista para el recubrimiento asfáltico.

1. Limpieza de la superficie

Se arreglan baches, grietas de más de 6 mm (1/4 pulg.) y pavimento dañado o rugoso que pueda necesitar fresado o la adición de una capa de nivelación, según aconsejen los ingenieros.

2. Instalación del sistema de refuerzo

Cuando el riego de adherencia esté en modo de adherencia o pegado, coloque el material polimérico.

Su instalación se realiza de manera manual.

Se mantiene el material liso y sin pliegues para prevenir discontinuidades de la geomalla. Puede ser necesario limpiar el sistema de instalación. Posteriormente corte y doble los bordes del geocompuesto en la dirección de la aplicación del asfalto para evitar dobleces pronunciados.

Para mantener la impermeabilidad a la humedad, las sobrecapas deben tener un espesor mínimo de 25 mm.

3. Tendido y compactación de mezclas o carpetas asfálticas

La compactación se realiza mediante un vibro compactador de rodillo.



Fig. 15. Compactación de segunda capa de mezcla asfáltica km 108+231 de la carretera Culiacán – Mazatlán.

5. Extracción de núcleos

Pasadas 48 horas de la compactación y libre tránsito, se procede a extraer los núcleos necesarios para las pruebas de Rueda Cargada de Hamburgo y TSR indicadas en el protocolo AMAAC, de los cuales se extrajeron 4 núcleos de 6" y 6 núcleos de 4" tanto con geomalla de refuerzo, como de no reforzadas.



Fig. 16. Núcleo de 4" con geomalla.



Fig. 17. Extracción de núcleos (Km 108+231 Culiacán - Mazatlán).

3.4.1.6. Equipo y herramientas necesarios para la prueba de Rueda Cargada de Hamburgo

Una máquina de ruedas cargadas de Hamburgo que puede mover eléctricamente una rueda de acero de diámetro de 203.2 y 47.0 mm de ancho a través de la muestra de ensayo. Cada rueda debe soportar un peso de $71.6 + 0.45 \text{ kg}$ ($705 + 4,5 \text{ N}$). La rueda debe girar a una velocidad máxima de unos 30,5 cm/s, medida en el centro, y realizar 52 ± 2 pasadas por minuto.

Un sistema de circulación mecánica que estabilice la temperatura interna del equipo y un sistema de control de temperatura que pueda regular la temperatura del agua en el interior del dispositivo dentro de rango de $25.0 - 70.1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sistema de medición del balanceo, dispositivo transductor de desplazamiento (LVDT) con un rango de medición entre 0 y 20 mm, capaz de medir la profundidad

del balanceo en el centro con una aproximación de 0.15 mm a 1.27 mm a lo largo de la trayectoria de la rueda. Sin pausar la rueda, la recogida de datos debe realizarse al menos cada 400 pasadas, y la deformación debe correlacionarse con el número apropiado de pasadas.

Un solenoide que cuenta el número de veces que la rueda pasa sobre la probeta. Se conecta a la medida de la rueda y permite expresar la profundidad de la huella de la rueda en función de las pasadas.

Un dispositivo cilíndrico de montaje de la probeta con dos moldes de yeso blanco o polietileno de alta densidad para mantener la probeta en su sitio. Colocar en una bandeja de acero inoxidable firmemente sujeta a la máquina.

3.4.1.7. Preparación del equipo

Con bases a las instrucciones dadas por el fabricante, encienda el aparato y acondicione el agua a una temperatura de prueba de 1 grado centígrado o menos.

3.4.1.8. Preparar la muestra.

Cree cuatro probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro para cada ensayo, cada una con un contenido en huecos del 70,5%. En general, una probeta debe tener un espesor de 38 a 100 mm y al menos el doble del tamaño nominal del material pétreo.

Considerando el Método de ensayo para la preparación y compactación de probetas de mezcla bituminosa en caliente mediante compactador rotatorio, prepare las probetas cilíndricas mediante mezclado y compactación (MAC-I).

3.4.1.9. Corte transversal de especímenes

Con una sierra, corte probetas de diámetro de 150 mm a una distancia de unos 16 mm del centro al borde. El tamaño de los moldes debe utilizarse para confirmar la distancia de corte precisa. Debe modificarse la altura del sistema de montaje.

3.4.1.10. Determinación del contenido de vacíos

Utilizando las especificaciones del Procedimiento de la rueda se determinó la gravedad específica bruta y la densidad relativa de la mezcla asfáltica compactada, determine la gravedad específica bruta (G_{mb}) del espécimen (MAC-II).

Con base a la norma del Método de prueba para determinar la gravedad específica teórica máxima y la densidad de la mezcla asfáltica, se determinó la gravedad específica teórica máxima de la mezcla (G_{mm}) (MAC-III).

Determinar el contenido en huecos de la probeta. Puede comprobarse el contenido en huecos de las probetas recogidas sobre el terreno.

3.4.1.11. Ejecución de la prueba

Montaje de muestras cilíndricas de campo o de laboratorio:

Se llenan los moldes de polietileno con las muestras. En la bandeja, disponga los moldes de polietileno de acuerdo con las especificaciones mostradas en la Fig. 18.

Introducción de las bandejas de montaje que contienen las muestras de ensayo en el aparato y, a continuación, ajuste la altura de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Puede utilizarse una mezcla de yeso-cemento para rellenar los huecos si los hubiera entre la probeta y el molde de plástico. Deje curar el yeso al menos una hora.

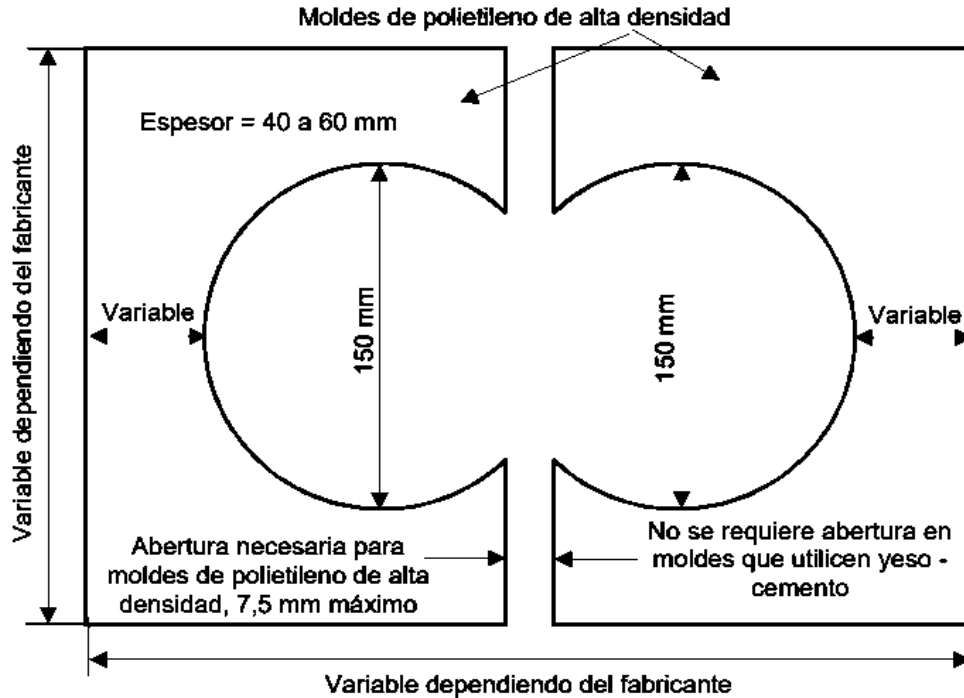


Fig. 18. Dimensiones de moldes de polietileno de alta densidad (IMT, 2018).

3.4.1.12. Montaje de losas de laboratorio o campo

Se colocan rígidamente las probetas de forjado en las bandejas de montaje utilizando una combinación de yeso-cemento.

Para rellenar el hueco entre el espécimen y los laterales de la bandeja de montaje, vierta la mezcla de yeso-cemento hasta una altura igual a la del espécimen. Deje curar el yeso al menos una hora.

La bandeja de montaje y el espécimen de la losa estarán en contacto directo; en cambio, el yeso puede rezumar por debajo del espécimen. El yeso debajo del espécimen no debe tener más de 2 mm de espesor. Si el montaje se realiza con otro material, se debe cuidar que la nueva materia se capaz de resistir un peso de al menos 200 lb (890 N) sin romperse.

Se fijan las bandejas de montaje que contienen las probetas al aparato y ajusta la altura de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

3.4.1.13. Ejecución del ensayo

Se enciende la Hamburg Loaded Wheel e inicia el software que se conecta a la maquinaria y se llena la configuración de prueba relevante y los detalles del proyecto.

De acuerdo con los requisitos de la prueba, se elige la temperatura de prueba, la profundidad máxima permitida de la banda de rodadura y el número máximo de pasadas.

Considerando los requisitos del equipo, llene el baño de agua del aparato Hamburg Loaded Wheel hasta la temperatura de ensayo establecida.

Una vez que el agua alcance la temperatura de ensayo elegida, se preacondiciona las muestras de ensayo en el baño durante 30 minutos. Antes de comenzar el ensayo, las probetas no deben estar sumergidas más de 60 minutos (incluyendo el tiempo de acondicionamiento).

Se descenden las ruedas sobre las muestras de ensayo. Antes de comenzar el ensayo, las ruedas no deben haber estado en contacto con las muestras durante más de cinco minutos.

Se verifica que el LVDT puede medir en el rango de 10 a 18 mm y realice los ajustes necesarios para obtener esta lectura y se concluye.

Después de haber realizado el número predeterminado de pasadas o de que la probeta haya descendido hasta la profundidad máxima de rodaje predeterminada, el equipo se apaga.

3.4.1.14. Cálculos

El término "prueba", tal y como se utiliza en este enfoque, se define del siguiente modo:

Dos especímenes diseñados para una rueda cada uno, de 32 cm de largo por 26 cm de ancho, o dos ejemplos con un diámetro de 25 cm o 30 cm.

Cuatro especímenes con un diámetro de 150 mm se dividieron en pares, y cada par se utiliza para una rueda diferente.

El valor medio de los dos especímenes, o de ambos pares de especímenes, se utilizan para obtener el resultado del ensayo.

Se representa gráficamente el número de pasadas frente a la profundidad de rodadura por rueda observada.

Y, se determina la profundidad máxima de rodadura a partir de la deflexión máxima alcanzada con el número de pasadas indicado en el experimento.

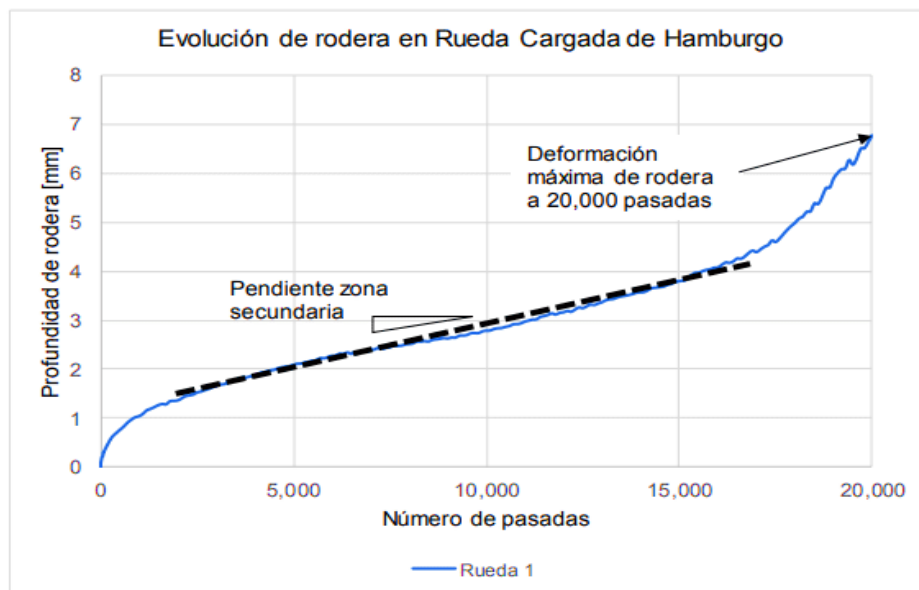


Fig. 19. Gráfica de profundidad de rodadura (IMT, 2018).

3.4.2. Reducción de espesores con la metodología AASHTO 93

La edición de 1993 de la técnica actual de la AASHTO explica detalladamente los pasos para diseñar la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos. Dado que se supone que los firmes flexibles soportarán niveles de tránsito elevados (más de 50.000 ejes equivalentes acumulados de 8,2 toneladas durante el período de diseño), este método elimina los firmes ligeros para un tránsito menor, como los caminos asfaltados o de tierra, y en su lugar resuelve la superficie de apoyo únicamente con hormigón asfáltico y tratamientos superficiales.

3.4.2.1. Métodos de diseño

Las ecuaciones originales de la AASHTO de 1961, que se crearon como consecuencia de los ensayos realizados en Ottawa (Illinois) con secciones a escala real y para todo tipo de firmes, constituyen la base de las técnicas utilizadas en la modificación de 1993 del proceso de diseño actual. La versión de 1986 comparada con la actual (1993) ha cambiado, esto es para incorporar factores de diseño que no se habían tenido en cuenta debido a la experiencia lograda por el mismo organismo; así, como las experiencias de otros organismos y consultores independientes. La base principal para el diseño es el "número estructural SN" para pavimentos flexibles que puedan soportar el grado de carga necesario. El método incluye la ecuación general y las siguientes entradas para calcular el número estructural SN necesario:

1. El volumen de tránsito medido en ejes equivalentes totales para el período de diseño elegido, "W18."
2. La métrica de fiabilidad "R".
3. "So" es la desviación estándar total.
4. El módulo de resiliencia efectivo del material de la subrasante, o "Mr".
5. La reducción de los índices de capacidad de servicio desde los valores iniciales previstos hasta los valores finales, " Δ PSI".

3.4.2.2. Tránsito

No se han producido ajustes significativos con respecto a la técnica original de la AASHTO, ya que el sistema actual sigue utilizando ejes equivalentes de 18.000 lb (8,2 toneladas) recogidos para el periodo de diseño para las estimaciones de tránsito. Sólo se recomienda para los objetivos de diseño "por fases" un gráfico que demuestre el crecimiento acumulado de ejes (ESAL) a lo largo del tiempo, expresado en años, hasta el final del período de diseño o hasta que se alcance la primera vida útil del pavimento. El parámetro de tránsito W18 en el carril de diseño puede calcularse considerando la siguiente ecuación:

$DD * DL * W18 = W18$, donde:

W18, es el tránsito total del primer año en ejes equivalentes simples de 8.2 toneladas circulando por el carril designado.

DD, son las siglas de "factor de distribución direccional", que oscila entre 0.3 y 0.7 en función del sentido de circulación en el que haya mayor concentración de vehículos pesados. El 50% es el valor recomendado para la mayoría de las rutas, es importante mencionar que, en México, este factor se obtiene de dividir el volumen de tránsito horario en el sentido de circulación más cargado entre el volumen en ambos sentidos a la misma hora.

W18, es el número total de ejes comparables en ambas direcciones. Cuando los carriles son dos o más en cada sentido, DL significa factor de distribución por carril, se aconsejan estos porcentajes:

Tabla 5. Factor de distribución por carril.

Número de carriles por cada sentido	Porcentaje de W18 para el Carril de Diseño
1	100%
2	80 a 100%
3	60 a 80%
≥ 4	50 a 75%

Una vez determinados los ejes equivalentes acumulados para el año uno, se determinará aproximadamente el total de ejes equivalentes acumulados en función de la tasa de crecimiento anual y de la duración del diseño por años. Para la ecuación general, esto servirá como parámetro de entrada. En contraste con las consideraciones normales de 20 años del enfoque anterior, la actual edición de 1993 de la metodología AASHTO sugiere las duraciones de diseño en función del tipo de vía.

Tabla 6. Tipo de carretera y sus periodos de diseño.

Tipo	Periodo de diseño
Carretera urbana con Alto Volumen de Tránsito	30 a 50 años
Carretera Interurbana con Alto Volumen de Tránsito	20 a 50 años
Carretera Pavimentada con Volumen Bajo de Tránsito	15 a 25 años
Carretera Revestidas con Bajo Volumen de Tránsito	10 a 20 años

3.4.2.3. Confiabilidad "R"

Para alcanzar un determinado grado de certidumbre a lo largo del proceso de diseño y asegurar que las distintas alternativas de sección estructural generadas durarían al menos los años considerados para el diseño, se utiliza el parámetro de fiabilidad "R". Este parámetro tiene en cuenta cualquier variación en las proyecciones del tránsito por ejes acumulado, así como el comportamiento del segmento propuesto. Según la técnica actual de la AASHTO para el diseño de la sección estructural de los firmes flexibles, con varias clases funcionales, el parámetro de fiabilidad "R" debe tener valores comprendidos entre 50 y 99,9. Cabe destacar que, si bien deben utilizarse niveles más bajos para las obras o autopistas locales y de menor importancia, deben emplearse los rangos más elevados para los proyectos que vayan a experimentar un uso intenso. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Valores de "R" de confiabilidad.

Niveles de confiabilidad	
Clasificación	Nivel recomendado por: AASHTO
Carretera Interestatal o Autopista	80 a 99.9
Vía principal o federal	75 a 95
Vía secundaria o estatal	75 a 95
Vía rural o local	50 a 80

3.4.2.4. Desviación estándar global "SO"

Este parámetro está relacionado con la Fiabilidad (R). Una vez ajustado este parámetro, debe elegir un valor de "Desviación estándar global" que refleje la naturaleza local. Este número debe ajustarse para considerar los cambios del pavimento y las previsiones de tránsito en una vía. Por ello, los valores de las secciones de prueba AASHO no tuvieron en cuenta los errores de estimación del tránsito. Sin embargo, el error de estimación en el comportamiento de la sección en estas secciones fue de 0,25 para los pavimentos rígidos y de 0,35 para los pavimentos flexibles. Esto se traduce en valores de la desviación estándar total debida al tránsito de 0,35 (pavimentos rígidos) y 0,45 (pavimentos flexibles).

3.4.2.5. Módulo de resiliencia efectivo

Según el método actual de la AASHTO, la obtención del módulo de resiliencia a partir de ensayos de laboratorio sobre los materiales que se utilizarán en la capa de subrasante (método T-274 de la AASHTO), con muestras representativas (tensión y humedad) que simulen las respectivas estaciones del año, es esencial para caracterizar adecuadamente los materiales. Alternativamente, correlacionando el módulo resistente "estacional" con características del suelo como el contenido de arcilla, la humedad, el índice plástico, etc. Por último, se determinará un "módulo de resistencia efectivo", que es la suma de los efectos de todos los valores del módulo estacional. El módulo estacional, o las variaciones del Sr. a lo largo del año, pueden determinarse de dos maneras: 1) estableciendo una correlación entre el módulo

resiliente y el contenido de humedad para varias muestras en diferentes estaciones; y 2) utilizando equipos para medir las deflexiones en vías que están en uso en varias épocas del año.

También se puede considerar el siguiente cálculo:

U_f = Daño relativo para cada estación,

donde $U_f = 1,18 \times 10^8 * M R^{-2,32}$ (al mes o quincena).

MR representa el módulo de resiliencia de la capa de subrasante, que puede medirse en un laboratorio o mediante deflexiones cada dos o cuatro semanas.

$$\bar{U}_f = \text{promedio de daño relativo} = \frac{\sum U_f}{n}$$

El MR efectivo corresponde al U_f promedio.

3.4.2.6. Pérdida o diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal

El cambio o pérdida de calidad del servicio de una vía facilita al usuario. A continuación, se determina en el método mediante la ecuación que se detalla a continuación:

$$PSI = \text{Índice de Servicio Presente}$$

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

donde:

ΔPSI : Es la diferencia entre el índice de servicio inicial y final deseado.

P_o : El índice de servicio inicial puede ser de 4.2 (pavimento flexible) y 4.5 (rígidos).

P_t : El índice de servicio terminal, donde AASHTO (1993) considera valores de 3.0, 2.5 y 2.0. Aunque se recomendando 2.5 o 3.0 para vías principales y 2.0 para secundarios.

3.4.2.7. Determinación de espesores por capas

Es necesario identificar una sección multicapa que proporcione una capacidad equivalente al número estructural de diseño original, una vez que se ha determinado el número estructural SN para la sección estructural del pavimento mediante el uso del gráfico o la ecuación general básica de diseño, donde intervenían los parámetros descritos anteriormente (tránsito, R, So, MR y PSI). Dado que la versión de 1993 de la técnica actual de la AASHTO ya disponía de coeficientes de drenaje específicos para la base y la subbase, puede utilizarse la ecuación siguiente para determinar los espesores de cada una de las capas para la superficie de apoyo o ligante, la base y la subbase.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

donde:

a_1, a_2 y a_3 : Son los coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase correspondientemente.

D_1, D_2 y D_3 : El espesor de la carpeta, base y subbase correspondientemente (").

m_1, m_2 : Son coeficientes de drenaje para base y subbase, correspondientemente.

La obtención de los coeficientes de drenaje como: m_2 y m_3 , correspondientes a las capas de base y subbase, el método actual de AASHTO se fundamenta en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, como se define la tabla 8.

Tabla 8. Capacidad de drenaje para remover la humedad.

Calidad del drenaje:	Agua removida en:	Unidad
Excelente	2	Hora
Bueno	1	Día
Regular	1	Semana
Pobre	1	Mes
Malo	Agua no drena	

En la siguiente tabla, se muestran los valores sugeridos para m_2 (base) y m_3 (subbases) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo en el transcurso de un año. Por ende, la estructura del pavimento puede estar expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 9. Valores sugeridos para modificar los coeficientes estructurales de capa de bases y subbases sin tratamiento (pavimentos flexibles).

Tiempo al cual esta exhibida la Estructura del Pavimento a Niveles de humedad próximos a la saturación.				
Valores de drenaje	< 1%	1 – 5 %	5 – 25%	>25%
Muy pobre (M)	1.05 a 0.95	0.95 a 0.75	0.75 a 0.40	0.40
Pobre (P)	1.15 a 1.05	1.05 a 0.80	0.80 a 0.60	0.60
Tiempo al cual esta exhibida la Estructura del Pavimento a Niveles de humedad próximos a la saturación.				
Regular (R)	1.25 a 1.15	1.15 a 1.05	1.00 a 0.80	0.80
Bueno (B)	1.35 a 1.25	1.25 a 1.15	1.15 a 1.00	1.00
Excelente (E)	1.40 a 1.35	1.35 a 1.30	1.30 a 1.20	1.20

Por lo tanto, para áreas con rodamiento (concreto asfáltico) de capas estabilizadas con cemento o asfalto. Así pues, este método no utiliza un efecto de la calidad de drenaje, esto se debe a la ecuación del diseño porque en ella sólo participan valores de m_2 (base) y m_3 (subbase).

Para el cálculo de los espesores (pulgadas) D_1, D_2 y D_3 , se basa en los siguientes datos mínimos detallados en la tabla siguiente:

Tabla 10. Espesores mínimos, en pulgadas con base a los ejes equivalentes.

Tránsito ESAL's para ejes equivalentes	Carpetas de Concreto Asfáltico	Bases Granulares
< 50,000	1.0 o Tratamiento superficial con sellos (T.S.)	4.0
Entre 50,001 a 150,000	2.0	4.0
150,001 a 500,000	2.5	4.0
501,000 a 2,000,000	3.0	6.0
2,000,001 a 7,000,000	3.5	6.0
> 7,000,000	4.0	6.0

3.4.2.8. Análisis del diseño final con sistema multicapa

Debe entenderse que la estructura de los firmes flexibles es un sistema multicapa y debe desarrollarse como tal. El "número estructural SN" de la capa de subrasante o del cuerpo del terraplén es el primer elemento que debe calcularse, como se indicó al principio del proceso. Del mismo modo, empleando los datos de resistencia adecuados en cada una de ellas, debe determinarse el número estructural necesario para las capas de subbase y base. Calcular el espesor máximo considerado de cada capa implica comparar los números estructurales necesarios para cada capa y cotejarlos. Por ejemplo, el número estructural necesario en la subbase debe deducirse del SN requerido en la subrasante para obtener el número estructural máximo admisible para el material de la capa subbase.

La sección estructural de diseño para el pavimento flexible se establece con la ayuda de todo lo mencionado anteriormente.

3.4.3. Determinación del comportamiento de los pavimentos mediante el software MacREAD Pavement Design

Para la simulación numérica se utilizó el programa MacREAD Pavement Design (véase la Fig. 20), creado por la empresa Maccaferri para el diseño de firmes con

refuerzo de geomallas. Este software emplea la metodología estadounidense AASHTO.

La comprensión de la ubicación y la resistencia de la geomalla en aplicaciones de estabilización de la capa de construcción de carreteras será más fácil con la ayuda de MacREAD Pavement Design. Los geosintéticos en la subrasante tienen procesos de retención lateral y de membrana tensada que aumentan la capacidad portante del suelo.

Para este efecto, el programa de diseño de pavimentos Maccaferri se basa en un modelo de 4 capas: base, subbase y subrasante, así como asfalto (ligante y capa de rodadura) si se trata de una superficie. El número y las propiedades mecánicas de las capas de refuerzo pueden calcularse una vez establecido el espesor, según el enfoque de la AASHTO. Se tendrá en cuenta la reducción de las fuerzas horizontales por el peso propio, la carga de las ruedas y el impacto de la geomalla de fibra de vidrio.

Es posible considerar diversas deformaciones geosintéticas y el ahorro de espesor en comparación con los diseños convencionales. La reducción de las capas estructurales del firme puede tener efectos importantes.

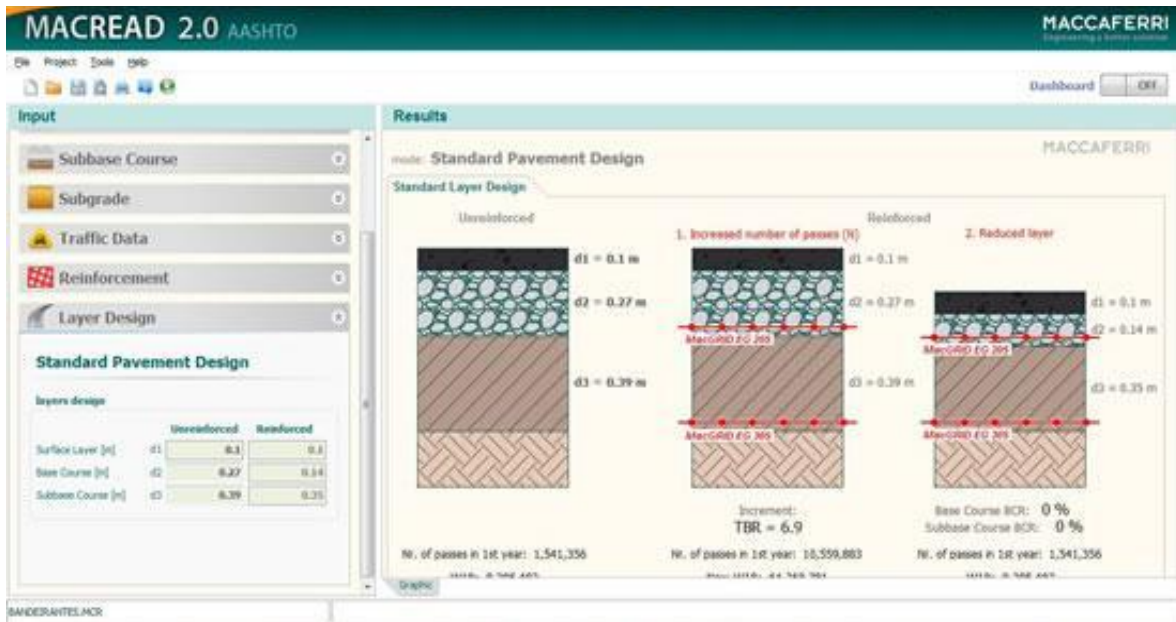


Fig. 20. Pantalla principal de MacREAD Pavement Design

3.4.4. Comparación económica

En esta situación se ha efectuado un análisis económico considerando los insumos implicados en las dos opciones planteadas, es decir, el coste total de construcción de las partes reforzadas y no reforzadas. El material granular necesario para proporcionar el espesor necesario en cada sección de diseño; así, como el material de refuerzo que se utilizará se tomarán en consideración como insumos en la primera evaluación. Para determinar los gastos globales por metro lineal de sección, también se tendrá en cuenta la anchura de la calzada de 7,0 m. Tendremos en cuenta tanto el coste de la ubicación de los insumos como el coste de los propios insumos para realizar un estudio más realista de los tramos investigados. Para ello tenemos en cuenta los costes unitarios de los componentes pertinentes. Para el análisis final se utilizarán tablas comparativas de los costes a corto y largo plazo.

3.5. Análisis de resultados

3.5.1. Rueda Cargada de Hamburgo

Para cada mezcla evaluada en esta investigación se determinó la deformación permanente. Este análisis se ejecutó considerando las pruebas establecidas en México; es decir, a 50 °C y deformación máxima de 10 mm a 20,000 repeticiones de carga.



Fig. 21. Instalación de geomalla de fibra de vidrio.

Tabla 11. Granulometrías obtenidas después del tamizado

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM)				
Banco		Culiacancito	Culiacancito	Culiacancito
Tipo de Material		Grava ¾"	Sello	Arena Triturada
Abertura (mm)	Malla N°	% Que pasa		
37.5	1½"	100.0	100.0	100.0
25	1"	100.0	100.0	100.0
19	¾"	91.2	100.0	100.0
12.5	½"	32.4	100.0	100.0
9.5	⅜"	4.2	97.2	100.0
4.75	N° 4	0.5	24.5	98.0
2.36	N° 8	0.3	3.3	72.5
1.18	N° 16	0.1	2.3	46.0
0.6	N° 30	0.0	2.1	29.5
0.3	N° 50	0.0	2.0	19.5
0.15	N° 100	0.0	1.8	12.4
0.075	N° 200	0.0	1.6	9.1

Las probetas reforzadas con geomalla exhibieron una deformación mayor que las no reforzadas, lo cual se indica en la Tabla No. 12, en consecuencia, los resultados en la rueda cargada de Hamburgo no fueron los previstos.

Tabla 12. Resultados obtenidos RCH

Identificación	T.N.	No. de pasadas	Temperatura de la prueba (°C)	Deformación permanente
No reforzada	¾"	20	50	2,93
No reforzada	¾"	20	50	2,95
Reforzada con geomalla de fibra de vidrio	¾"	20	50	3,7
Reforzada con geomalla de fibra de vidrio	¾"	20	50	3,67



Fig. 22. Rueda Cargada de Hamburgo en funcionamiento.

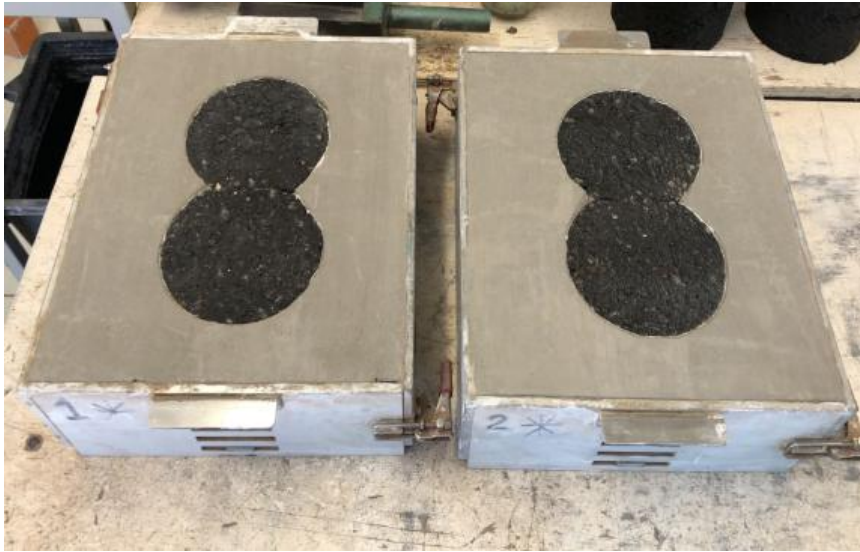


Fig. 23. Núcleos extraídos listos para prueba RCH.



Fig. 24. Espécimen después de prueba RCH.

3.5.2. Comparación económica

La comparación económica entre pavimentos tradicionales y aquellos que incorporan el uso de geomallas es un análisis crucial para determinar cuál de estas alternativas resulta más ventajosa desde una perspectiva financiera. Los pavimentos tradicionales, contruidos con materiales como el asfalto o el concreto, han sido ampliamente utilizados durante décadas y han demostrado su eficacia en diversas aplicaciones. Sin embargo, la incorporación de geomallas en el diseño y construcción de pavimentos ha ganado popularidad en los últimos años debido a sus potenciales beneficios.

Al llevar a cabo una comparación económica, se evalúan varios factores clave. En primer lugar, se consideran los costos iniciales de cada tipo de pavimento, incluyendo los materiales necesarios, la mano de obra y los equipos requeridos. En este aspecto, los pavimentos tradicionales suelen tener un costo inicial más elevado debido a la utilización de materiales convencionales y a la necesidad de una mayor cantidad de mano de obra especializada.

Sin embargo, es importante tener en cuenta los costos a largo plazo. Aquí es donde las geomallas pueden mostrar su ventaja económica. Estas estructuras proporcionan refuerzo y estabilización al pavimento, lo que puede resultar en una mayor durabilidad y una reducción de los costos de mantenimiento y reparación a lo largo de la vida útil del pavimento. Además, las geomallas pueden permitir una reducción en el espesor del pavimento, lo que se traduce en ahorros adicionales de materiales y costos asociados.

Otro aspecto a considerar es el rendimiento del pavimento en términos de resistencia a las cargas y deformaciones. En este sentido, las geomallas pueden mejorar la capacidad de carga y la resistencia a la fatiga del pavimento, lo que puede resultar en una mayor durabilidad y una menor necesidad de reparaciones.

En resumen, la comparación económica entre pavimentos tradicionales y aquellos que utilizan geomallas implica evaluar los costos iniciales, los costos a largo plazo

y el rendimiento del pavimento. Si bien los pavimentos tradicionales pueden tener costos iniciales más altos, las geomallas pueden ofrecer beneficios en términos de reducción de costos de mantenimiento, mayor durabilidad y menor necesidad de reparaciones. Estos factores hacen que la incorporación de geomallas sea una opción atractiva desde una perspectiva económica en determinadas situaciones, siendo fundamental analizar las condiciones específicas de cada proyecto para tomar la decisión más acertada.

Para este caso se tiene las siguientes tarjetas de precios unitarios

- Sin refuerzo

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey						
Tema de "Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos						
Tesis: flexibles con la implementación de geomallas."						
						DOC.
						1
Lugar: CULIACÁN, SINALOA						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe
Partida:	1 - SIN REFUERZO	Análisis				
		No.:		1		
Análisis:	1		m³			
	Carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa, compactada al 95%, con material pétreo triturado al 100%, 3/4 " t.m.a. y asfalto grado PG 76-22					
MATERIALES						
ACA1MEZCLA	ACARREO 1 KM PARA PAVIMENTOS	m ³	\$13.00	*	1.000000	\$13.00
ACASUBMEZC	ACARREO KM SUBSECUENTES PARA PAVIMENTOS	M3/KM	\$7.50	*	5.000000	\$37.50
01MACARPE	MATERIAL DE BANCO PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	m ³	\$300.00	*	1.300000	\$390.00
09COMBUS	COMBUSTOLEO	LT	\$8.50	*	21.000000	\$178.50
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM	m ³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42
ACARREO KM SUB	ACARREO A KM SUBSECUENTES	M3/KM	\$6.21	*	17.000000	\$105.57
PG6422	CEMENTO ASFALTICO PG 64H-16	KG	\$13.83	*	125.000000	\$1728.75
EMLLIGA	EMULSION EN RIEGO DE LIGA	LT	\$8.50	*	9.000000	\$76.50

SUBTOTAL: MATERIALES							\$2542.24
MANO DE OBRA							
5P	CUADRILLA No 5 (5 PEONES)	JOR	\$2,984.35	*	0.002091	\$6.24	
1P	CUADRILLA No 1 (1 PEON)	JOR	\$614.78	*	0.001000	\$0.61	
CUARAST	CUADRILLA (2 TORNILLEROS+4 RASTRILLEROS)	JOR	\$4,831.34	*	0.002227	\$10.76	
SUBTOTAL: MANO DE OBRA							\$17.61
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
EQCAMIOPIPA	CAMION PIPA DE 9 M3 MARCA FORD MODELO 2005	HORA	\$501.30	/	15.00000 0	\$33.42	
EQNEUMATI	COMPACTADOR DE NEUMATICOS, 77 HP, PS110, MARCA CATERPILLAR MODELO 2009	HORA	\$459.91	/	15.00000 0	\$30.66	
EQPAVICATR	PAVIMENTADORA ASFALTICA, MARCA VOGELE	HORA	\$931.18	/	15.00000 0	\$62.08	
EQBARRE	BARREDORA AUTOPROPULSADA MARCA BROCE MOD 2012	HORA	\$466.08	/	15.00000 0	\$31.07	
EQCAMION7M3	CAMION DE VOLTEO DE 7 M3 MARCA INTERNATIONAL	HORA	\$624.55	/	15.00000 0	\$41.64	
EQCOMPACT	COMPACTADOR DOBLE TAMBOR CB 534 C MARCA CATERPILLAR MODELO 2009	HORA	\$544.83	/	15.00000 0	\$36.32	
EQPLANT	PLANTA DE MATERIAL ASFALTICO CATERPILLAR UDM-500	HORA	\$1,699.42	/	15.00000 0	\$113.29	
EQRETRO1	RETROEXCAVADORA CARGADORA CATERPILLAR 420F/420FIT MODELO 2016	HORA	\$685.81	/	15.00000 0	\$45.72	
SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA							\$394.20
A) (CD) COSTO DIRECTO							\$2,954.05
(DOS MIL NOVECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS 05/100 M.N. *)							

- Con refuerzo, con geomalla de fibra de vidrio

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey						
Tema de "Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas."						
Tesis:						
DOC.						
2						
Lugar: CULIACÁN, SINALOA						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe

Partida:	1 - CON REFUERZO	Análisis No.:	2				
Análisis:	2		m³				
	Carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa, de 10 cms de espesor, compactada al 95%, con material pétreo triturado al 100%, 3/4" t.m.a. y asfalto grado PG 76-22						
MATERIALES							
ACA1MEZCLA	ACARREO 1 KM PARA PAVIMENTOS	m³	\$13.00	*	1.000000	\$13.00	
ACASUBMEZC	ACARREO KM SUBSECUENTES PARA PAVIMENTOS	M3/KM	\$7.50	*	5.000000	\$37.50	
01MACARPE	MATERIAL DE BANCO PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	m³	\$300.00	*	1.300000	\$390.00	
09COMBUS	COMBUSTOLEO	LT	\$8.50	*	21.000000	\$178.50	
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM	m³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42	
ACARREO KM SUB	ACARREO A KM SUBSECUENTES	M3/KM	\$6.21	*	17.000000	\$105.57	
PG6422	CEMENTO ASFALTICO PG 64H-16	KG	\$13.83	*	125.000000	\$1728.75	
MACGRID AR	GEOMALLA DE FIBRA DE VIDRIO AR 10.7	M2	\$56.98	*	10.000000	\$569.80	
EMLLIGA	EMULSION EN RIEGO DE LIGA	LT	\$8.50	*	9.000000	\$76.50	
SUBTOTAL:	MATERIALES					\$3112.04	
MANO DE OBRA							
5P	CUADRILLA No 5 (5 PEONES)	JOR	\$2,984.35	*	0.002091	\$6.24	
1P	CUADRILLA No 1 (1 PEON)	JOR	\$614.78	*	0.001000	\$0.61	
2P	CUADRILLA No 2 (2 PEONES)	JOR	\$1,229.56	*	0.001000	\$1.23	
CUARAST	CUADRILLA (2 TORNILLEROS+4 RASTRILLEROS)	JOR	\$4,831.34	*	0.002227	\$10.76	
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA					\$18.84	
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
EQCAMIOPIPA	CAMION PIPA DE 9 M3 MARCA FORD MODELO 2005	HORA	\$501.30	/	15.000000	\$33.42	
EQNEUMATI	COMPACTADOR DE NEUMATICOS, 77 HP, PS110, MARCA CATERPILLAR MODELO 2009	HORA	\$459.91	/	15.000000	\$30.66	
EQPAVICATR	PAVIMENTADORA ASFALTICA, MARCA VOGELE	HORA	\$931.18	/	15.000000	\$62.08	
EQBARRE	BARREDORA AUTOPROPULSADA MARCA BROCE MOD 2012	HORA	\$466.08	/	15.000000	\$31.07	
EQCAMION7M3	CAMION DE VOLTEO DE 7 M3 MARCA INTERNATIONAL	HORA	\$624.55	/	15.000000	\$41.64	
EQCOMPACT	COMPACTADOR DOBLE TAMBOR CB 534 C MARCA CATERPILLAR MODELO 2009	HORA	\$544.83	/	15.000000	\$36.32	
EQPLANT	PLANTA DE MATERIAL ASFALTICO CATERPILLAR UDM-500	HORA	\$1,699.42	/	15.000000	\$113.29	
EQMOTOC	MOTOCONFORMADORA CATERPILLAR 120 G	HORA	\$850.36	/	15.000000	\$56.69	

EQRETRO1	RETROEXCAVADORA CARGADORA CATERPILLAR 420F/420FIT MODELO 2016	HORA	\$685.81	/	10.00000	\$68.58
					0	
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$473.75
	A) (CD) COSTO DIRECTO					\$3,604.63
	(TRES MIL SEISCIENTOS CUATRO PESOS 63/100 M.N. *)					

Tabla 13. Comparativa económica – carpeta asfáltica

COMPARATIVA EN PRECIO	
Carpeta de concreto asfáltica c/geomalla de fibra de vidrio	\$3,604.63
Carpeta de concreto asfáltica sin refuerzo	\$2,954.05

Se observa una diferencia en precio por m^3 de \$650.58 (Seiscientos cincuenta pesos 58/100 M.N.) para el concepto de carpeta asfáltica.

Para el caso del refuerzo de la capa subbase, con la implementación de una geomalla MacGRID 40 S, se obtuvieron los precios unitarios de las capas que integran un pavimento flexible para finalmente realizar una comparación del costo final de por cada metro cúbico de un pavimento sin refuerzo y uno reforzado con geosintéticos.

- La capa subrasante

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey						
Tema de "Evaluación del mejoramiento						
estructural de los pavimentos						
Tesis: flexibles con la implementación de						
geomallas."						
						DOC.
						3
Lugar: CULIACÁN, SINALOA						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe

Partida:	2	Análisis No.:	3				
	3		m ³				
Análisis:	La construcción de la capa subrasante, utiliza un material compactable, procedente de banco, con incorporación del préstamo de banco, carga, regalías, extracción y acarreo a cualquier distancia del banco que considere el contratista, estos están compactados al 100 % M.V.S.M. estándar.						
MATERIALES							
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM		m ³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42
ACARREO SUB	KM ACARREO A KM SUBSECUENTES		M3/KM	\$6.21	*	8.000000	\$49.68
MATE-BANTERR	MATERIAL DE BANCO		m ³	\$15.00	*	1.300000	\$19.50
SUBTOTAL: MATERIALES							\$81.60
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
EQMOTO120	MOTONIVELADORA	MARCA	HORA	\$1,092.8	/	85.00000	\$12.86
	CATERPILLAR 120 H DE 140 HP			2		0	
EQVIBROINGE	VIBROCOMPACTADOR	INGERSOLL-RAND-	HORA	\$749.28	/	85.00000	\$8.82
	MODELO 2012					0	
EQMOTO 1202	MOTONIVELADORA	MARCA	HORA	\$1,113.5	/	85.00000	\$13.10
	CATERPILLAR 120 H DE 140 HP			7		0	
EQCOMPA	VIBROCOMPACTADOR	INGERSOLL-RAND-	HORA	\$749.28	/	85.00000	\$8.82
	MODELO 2012					0	
SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA							\$43.60
BASICOS							
BASAGUAPUEST	AGUA PUESTA EN EL SITIO DE LOS TRABAJOS		m ³	\$67.81	*	0.180000	\$12.21
SUBTOTAL: BASICOS							\$12.21
A) (CD) COSTO DIRECTO							\$137.41
CIENTO TREINTA Y SIETE PESOS 41/100 M.N. *							

- La capa subbase sin refuerzo

Analista:	Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey
Tema de Tesis:	"Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas."
	DOC.
	5
Lugar:	CULIACÁN, SINALOA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe
Partida:	3	Análisis				
		No.:	5			
Análisis:	5		m³			
Subbase: compactada al 100 % M.V.S.M. modificada, con incorporación del préstamo de banco, carga, regalías, extracción y acarreo a cualquier distancia del banco que considere el contratista.						
MATERIALES						
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM	m ³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42
ACARREO KM SUB	ACARREO A KM SUBSECUENTES	M3/KM	\$6.21	*	17.000000	\$105.570
MATEBASE	MATERIAL DE BANCO PARA SUBBASE	m ³	\$185.96	*	1.300000	\$241.75
SUBTOTAL:	MATERIALES					\$359.74
MANO DE OBRA						
2P	CUADRILLA No 2 (2 PEONES)	JOR	\$1,193.74	/	320.000000	\$3.7300
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA					\$3.73
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQMOTO120	MOTONIVELADORA MARCA CATERPILLAR 120 H DE 140 HP	HORA	\$1,092.82	/	90.000000	\$12.140
EQVIBROINGE	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL-RAND- MODELO 2012	HORA	\$749.28	/	90.000000	\$8.330
EQMOTO 1202	MOTONIVELADORA MARCA CATERPILLAR 120 H DE 140 HP	HORA	\$1,113.57	/	90.000000	\$12.370
EQMOTO	MOTONIVELADORA CAT. 120 H DE 140 HP	HORA	\$1,144.07	/	90.000000	\$12.710
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$45.55
BASICOS						
BASAGUAPUEST	AGUA PUESTA EN EL SITIO DE LOS TRABAJOS	m ³	\$67.81	*	0.250000	\$16.95
SUBTOTAL:	BASICOS					\$16.95
	A) (CD) COSTO DIRECTO					\$425.97
	CUATROCIENTOS VEINTI CINCO PESOS 97/100 M.N. *					

- La capa subbase reforzada con MacGRID 40 S

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey						
Tema de "Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos						
Tesis: flexibles con la implementación de geomallas."						
DOC.						
5.1						
Lugar: CULIACÁN, SINALOA						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe
Partida:	3	Análisis				
		No.:		5		
Análisis:	5.1		m³			
Subbase, compactada al 100 % M.V.S.M. modificada, con incorporación del préstamo de banco, carga, regalías, extracción y acarreo a cualquier distancia del banco que considere el contratista						
MATERIALES						
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM	m³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42
ACARREO KM SUB	ACARREO A KM SUBSECUENTES	M3/KM	\$6.21	*	17.000000	\$105.57
MATEBASE	MATERIAL DE BANCO PARA SUBBASE	m³	\$185.96	*	1.000000	\$185.96
MACGRID 40 S	GEOMALLA MACGRID 40 S	M2	\$57.08	*	3.000000	\$171.24
SUBTOTAL:	MATERIALES					\$475.19
MANO DE OBRA						
2P	CUADRILLA No 2 (2 PEONES)	JOR	\$1,193.74	/	320.0000	\$3.73
3P	CUADRILLA No 3 (3 PEONES)	JOR	\$1,569.36	/	150.0000	\$10.46
SUBTOTAL:	MANO DE OBRA					\$14.19
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQMOTO120	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 120 H DE 140 HP	MARCA HORA	\$1,092.82	/	90.000000	\$12.14
EQVIBROINGE	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL-RAND- MODELO 2012	HORA	\$749.28	/	90.000000	\$8.33
EQMOTO 1202	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 120 H DE 140 HP	MARCA HORA	\$1,113.57	/	90.000000	\$12.37
EQMOTO	MOTONIVELADORA CAT. 120 H DE 140 HP	HORA	\$1,144.07	/	90.000000	\$12.71
SUBTOTAL:	EQUIPO Y HERRAMIENTA					\$45.55
BASICOS						

BASAGUAPUES T	AGUA PUESTA EN EL SITIO DE LOS TRABAJOS	m ³	\$67.81	*	0.250000	\$16.95
SUBTOTAL: BASICOS						\$16.95
A) (CD) COSTO DIRECTO						\$551.88
QUINIENTOS CINCUENTA Y UN PESOS 88/100						
M.N.*						

- Capa base

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey						
Tesis: "Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas."						
						DOC.
						4
Lugar: CULIACÁN, SINALOA						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe
Partida:	3	Análisis No.:		4		
Análisis:	4		m ³			
Base hidráulica, compactada al 100 % M.V.S.M. modificada, con incorporación del préstamo de banco, carga, regalías, extracción y acarreo a cualquier distancia del banco que considere el contratista y trituración mínima del 75 %.						
MATERIALES						
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM	m ³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42
ACARREO SUB	KM ACARREO A KM SUBSECUENTES	M3/KM	\$6.21	*	17.000000	\$105.57
MATEBASE	MATERIAL DE BANCO PARA BASE HIDRAULICA	m ³	\$200.00	*	1.300000	\$260.00
SUBTOTAL: MATERIALES						\$377.99
MANO DE OBRA						
2P	CUADRILLA No 2 (2 PEONES)	JOR	\$1,193.74	/	320.000000	\$3.73
SUBTOTAL: MANO DE OBRA						\$3.73
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
EQMOTO120	MOTONIVELADORA MARCA CATERPILLAR 120 H DE 140 HP	HORA	\$1,092.82	/	90.000000	\$12.14
EQVIBROINGE	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL-RAND- MODELO 2012	HORA	\$749.28	/	90.000000	\$8.33

EQMOTO 1202	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 120 H DE 140 HP	MARCA	HORA	\$1,113.5 7	/	90.000000	\$12.37
EQMOTO	MOTONIVELADORA CAT. 120 H DE 140 HP		HORA	\$1,144.0 7	/	90.000000	\$12.71
EQVAP	VIBROCOMPACTADOR VAP 70		HORA	\$923.89	/	90.000000	\$10.27
SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA							\$55.82
BASICOS							
BASAGUAPUEST	AGUA PUESTA EN EL SITIO DE LOS TRABAJOS		m ³	\$67.81	*	0.250000	\$16.95
SUBTOTAL: BASICOS							\$16.95
							\$454.49
A) (CD) COSTO DIRECTO							9
(CUATROCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS 49/100 M.N. *)							

- Riego de impregnación

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey								
Tesis: "Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas."								
							DOC.	
							6	
Lugar: CULIACÁN, SINALOA								
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS								
Código	Concepto			Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe
Partida:	3	Análisis No.:			6			
Análisis:	6				m³			
Subbase, compactada al 100 % M.V.S.M. modificada, con incorporación del préstamo de banco, carga, regalías, extracción y acarreo a cualquier distancia del banco que considere el contratista.								
MATERIALES								
02EMUL	EMULSION EN RIEGO DE	LT		\$8.50	*	1.500000	\$12.75	
SUBTOTAL: MATERIALES							\$12.75	
MANO DE OBRA								
1P	CUADRILLA No 1 (1 PEON)	JOR		\$614.78	*	0.001935	\$1.19	
SUBTOTAL: MANO DE OBRA							\$1.19	
EQUIPO Y HERRAMIENTA								

EQPETROL	CAMION PETROLIZADORA DE GALONES MARCA MACK	1105	HORA	\$613.42	/	780.00000	\$0.79
							0
SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA							\$0.79
A) (CD) COSTO DIRECTO							\$14.73
(CATORCE PESOS 73/100 M.N. *)							

- Carpeta de concreto asfáltico

Analista: Ing. Alarcón Iturríos Joan Andrey							
Tesis: "Evaluación del mejoramiento estructural de los pavimentos flexibles con la implementación de geomallas."							
DOC.							
1							
Lugar: CULIACÁN, SINALOA							
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
Código	Concepto	Unidad	P. Unitario	Op.	Cantidad	Importe	
Partida:	1 - SIN REFUERZO	Análisis					
		No.:		1			
Análisis:	1		m³				
Carpeta de concreto asfáltico de granulometría densa, compactada al 95%, con material pétreo triturado al 100% , 3/4 " t.m.a. y asfalto grado PG 76-22							
MATERIALES							
ACA1MEZCLA	ACARREO 1 KM PARA PAVIMENTOS	m³	\$13.00	*	1.000000	\$13.00	
ACASUBMEZC	ACARREO KM SUBSECUENTES PARA PAVIMENTOS	M3/KM	\$7.50	*	5.000000	\$37.50	
01MACARPE	MATERIAL DE BANCO PARA CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	m³	\$300.00	*	1.300000	\$390.00	
09COMBUS	COMBUSTOLEO	LT	\$8.50	*	21.000000	\$178.50	
ACARREO 1 KM	ACARREO A 1 KM	m³	\$12.42	*	1.000000	\$12.42	
ACARREO KM SUB	ACARREO A KM SUBSECUENTES	M3/KM	\$6.21	*	17.000000	\$105.57	
PG6422	CEMENTO ASFALTICO PG 64H-16	KG	\$13.83	*	125.000000	\$1728.75	
EMLLIGA	EMULSION EN RIEGO DE LIGA	LT	\$8.50	*	9.000000	\$76.50	
SUBTOTAL: MATERIALES							\$2542.24
MANO DE OBRA							
5P	CUADRILLA No 5 (5 PEONES)	JOR	\$2,984.35	*	0.002091	\$6.24	
1P	CUADRILLA No 1 (1 PEON)	JOR	\$614.78	*	0.001000	\$0.61	
CUARAST	CUADRILLA (2 TORNILLEROS+4 RASTRILLEROS)	JOR	\$4,831.34	*	0.002227	\$10.76	

SUBTOTAL: MANO DE OBRA							\$17.61
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
EQCAMIOPIPA	CAMION PIPA DE 9 M3 MARCA FORD MODELO 2005	HORA	\$501.30	/	15.00000	0	\$33.42
EQNEUMATI	COMPACTADOR DE NEUMATICOS, 77 HP, PS110, MARCA CATERPILLAR MODELO 2009	HORA	\$459.91	/	15.00000	0	\$30.66
EQPAVICATR	PAVIMENTADORA ASFALTICA, MARCA VOGELE	HORA	\$931.18	/	15.00000	0	\$62.08
EQBARRE	BARREDORA AUTOPROPULSADA MARCA BROCE MOD 2012	HORA	\$466.08	/	15.00000	0	\$31.07
EQCAMION7M3	CAMION DE VOLTEO DE 7 M3 MARCA INTERNATIONAL	HORA	\$624.55	/	15.00000	0	\$41.64
EQCOMPACT	COMPACTADOR DOBLE TAMBOR CB 534 C MARCA CATERPILLAR MODELO 2009	HORA	\$544.83	/	15.00000	0	\$36.32
EQPLANT	PLANTA DE MATERIAL ASFALTICO CATERPILLAR UDM-500	HORA	\$1,699.42	/	15.00000	0	\$113.29
EQRETRO1	RETROEXCAVADORA CARGADORA CATERPILLAR 420F/420FIT MODELO 2016	HORA	\$685.81	/	15.00000	0	\$45.72
SUBTOTAL: EQUIPO Y HERRAMIENTA							\$394.20
A) (CD) COSTO DIRECTO							\$2,954.05
(DOS MIL NOVECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO PESOS 05/100 M.N. *)							

Resumen:

Tabla 14. Costo directo por metro cúbico de pavimento flexible convencional sin refuerzo.

Capa del pavimento	Costo por metro cúbico
Subrasante	\$137.41
Subbase	\$425.97
Base	\$454.49
Riego de impregnación	\$14.73
Carpeta de concreto asfáltico	\$2,954.05
TOTAL	\$3,986.65

Tabla 15. Costo directo por metro cúbico de pavimento flexible convencional con subbase reforzada con geosintéticos.

Capa del pavimento	Costo por metro cúbico
Subrasante	\$137.41
Subbase con refuerzo	\$551.88
Base	\$454.49
Riego de impregnación	\$14.73
Carpeta de concreto asfáltico	\$2,954.05
TOTAL	\$4,112.56

3.5.3. Programa MacREAD Pavement Design

Los datos adquiridos procedían del diseño de una carretera de acceso con el fin de escalar el uso de geomallas en las capas de un pavimento flexible (Tabla 16); en este caso se utilizó una geomalla MacGRID EG 40S para rebajar la capa de subbase.

Tabla 16. Extracto de diseño de carretera alimentadora – pavimento flexible (véase anexo 03)

Datos			
Capa	a1	CBR (%)	Coefficiente de drenaje
Carpeta asfáltica	0,17	--	--
Base	0,052	100	1,15
Subbase	0,047	40	1,15
Subrasante	---	7	--

MACCREAD 2.0 AASHTO MACCAFERRI
Engineering & better solutions

Archivo Project Herramientas Ayuda Region: 950 Ex Dashboard

Input

Información de Proyecto

Capa Superficial

Coefficiente de Capa a1:

Profundidad mínima:

Base de Rodadura

Nivel de Sub-base

Subrasante

Dato de Tráfico

Refuerzo

Layer Design

Dashboard MACCREAD 2.0 | Copyright© Maccaferri 2012-2017 | v2.1.11 | 2017.Apr.20

Capa Superficial d1

Base de Rodadura d2

Nivel de Sub-base d3

Subrasante

AASHTO Minimum Depth

Traffic, ESAL	Surface Layer depth [m]	Base Course depth [m]
Less than 50,000	0.025	0.1
50,001 - 150,000	0.05	0.1
150,001 - 500,000	0.065	0.1
500,001 - 2,000,000	0.075	0.15
2,000,001 - 7,000,000	0.09	0.15
Greater than 7,000,000	0.1	0.15

Reforzado **2. Reduced layer**

d1 = 0.53 m

SANDERANTES-MCR

Fig. 25. Datos de la capa superficial en Software.

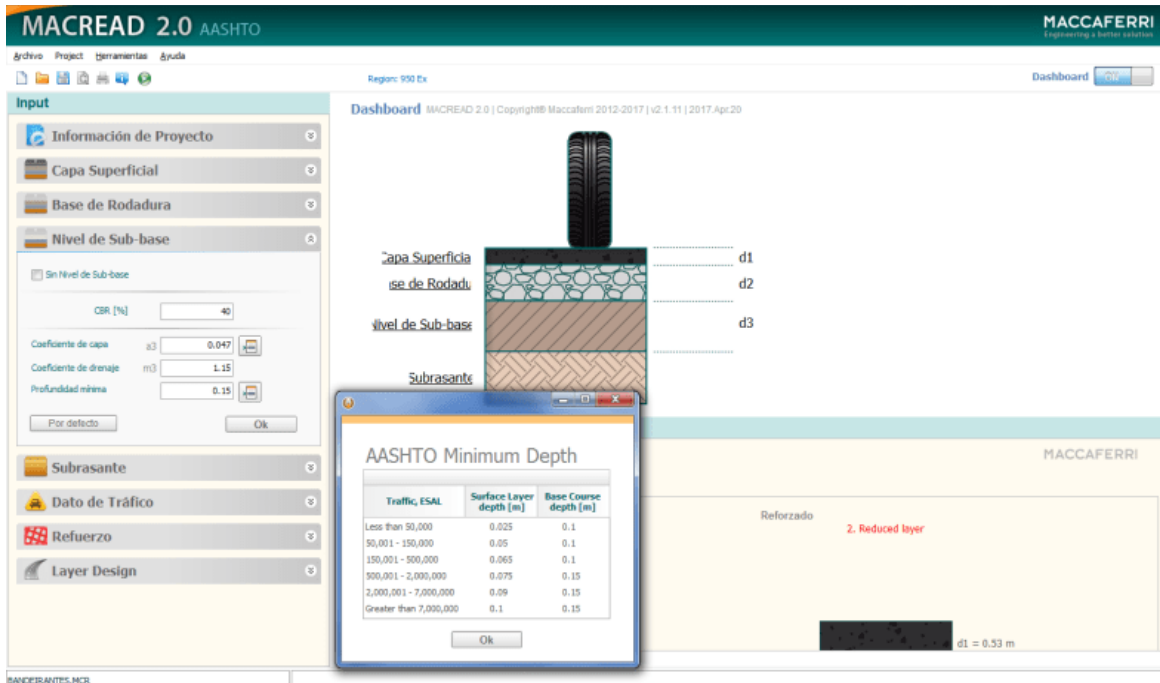


Fig. 26. Datos de la Subbase de rodadura en Software.

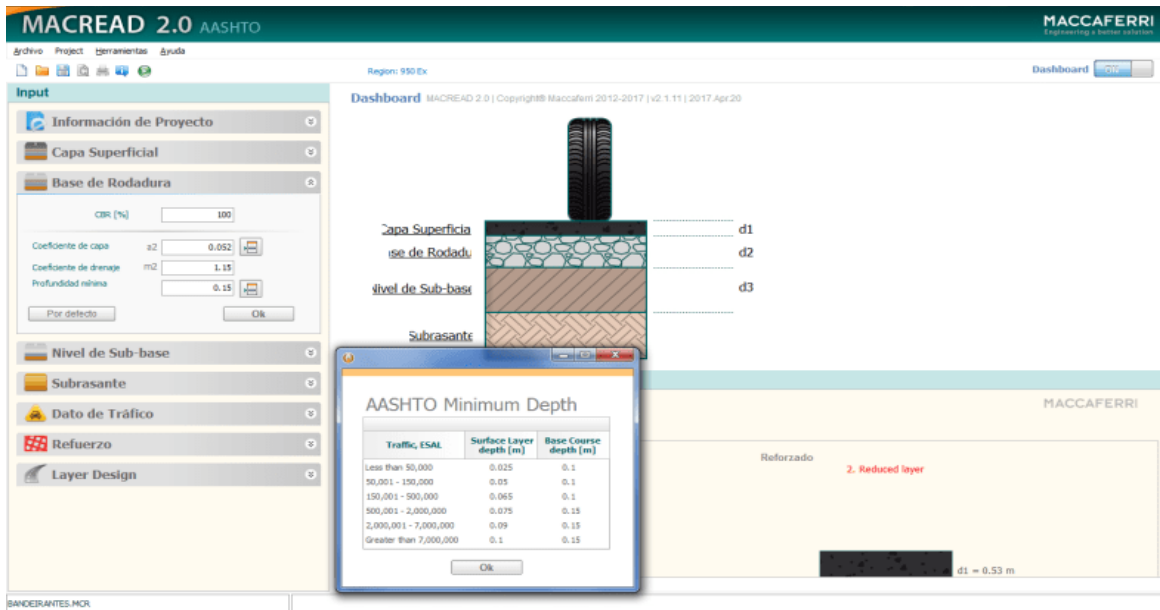


Fig. 27. Datos de la base de rodadura en Software.



Fig. 28. Datos de la subrasante en Software.

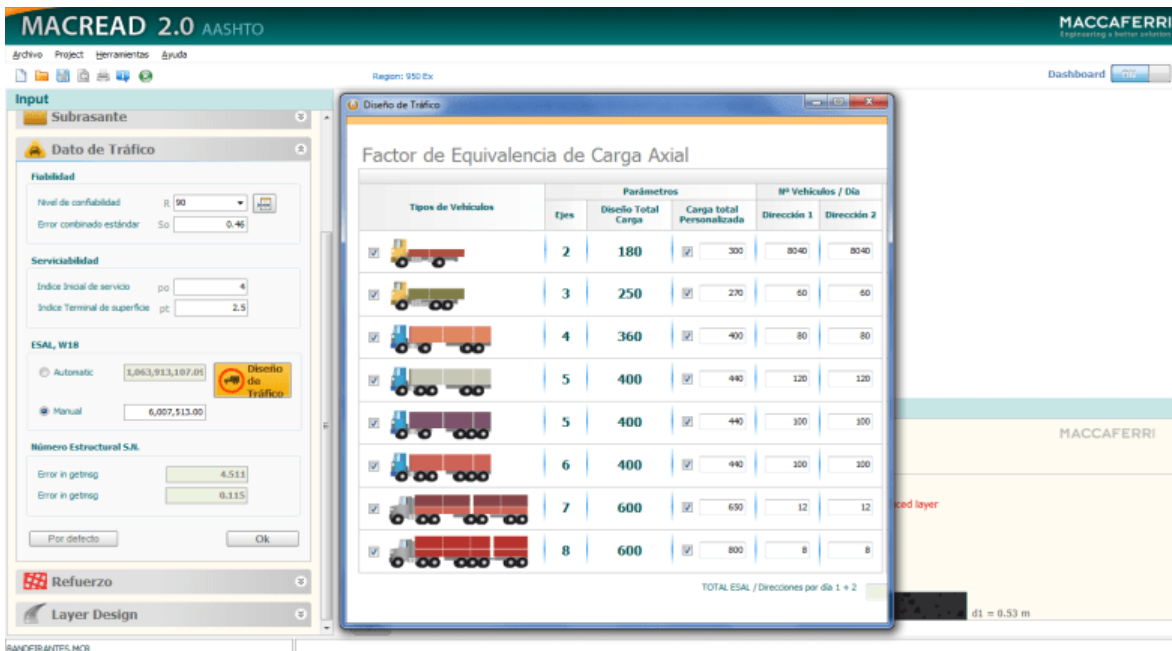


Fig. 29. Datos de tráfico en Software MacREAD Pavement Design

● Resultados

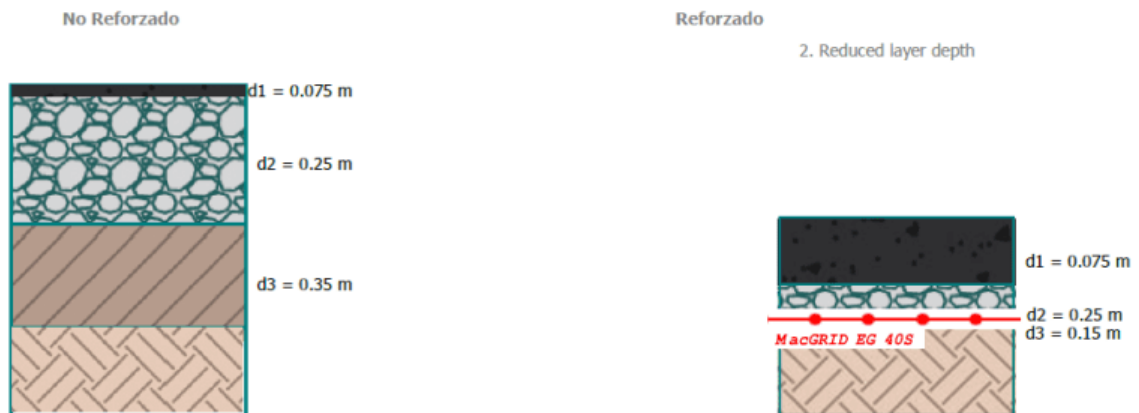


Fig. 30. Resultado de cálculo de espesores con y sin refuerzo en Software MacREAD Pavement Design

Tabla 17. Espesores de diseño y re calculados con la implementación de geomalla con el Software MacREAD Pavement Design

Redimensionamiento		
	Espesor de diseño (m)	Espesor reforzado (m)
Carpeta asfáltica	0.075	0.075
Base	0.25	0.25
Sub base	0.35	0.15

3.5.4. Reducción de espesores mediante metodología AASHTO 93

El número equivalente de ejes simples que circulan por la carretera fue una consideración básica en la construcción del pavimento flexible, es crucial señalar en este estudio. En un segmento comparable a una carretera A2, los volúmenes de tránsito de la SCT estiman un tránsito diario promedio anual (TDPA) de 4,688 automóviles circulando en ambos sentidos.

Tabla 18. Valores de diseño de pavimento tipo.

No.	Capas	CBR	Espesor "D" (cm) propuesto	Coefficiente de drenaje "mi"
1	Carpeta asfáltica	-	5.0	-
2	Base granular	100%	15.0	1.0
3	Subbase granular	50%	20.0	1.0
4	Subrasante	8%	-	-

Es crucial para el estudio señalar que el número estructural se determinó utilizando la técnica AASHTO 93. El número estructural de la estructura original o no reforzada se calcula utilizando la ecuación del número estructural y los datos de los coeficientes que se determinen. El espesor de cada capa debe expresarse en pulgadas.

Para el valor del coeficiente a_1 se sugiere un coeficiente estructural de 0.45 para la capa asfáltica, que está dentro de los parámetros establecidos por la metodología AASHTO para una prueba de estabilidad Marshall de 10,000 N. Para estimar los coeficientes estructurales AASHTO, los ábacos proporcionarán los valores de a_2 y a_3 .

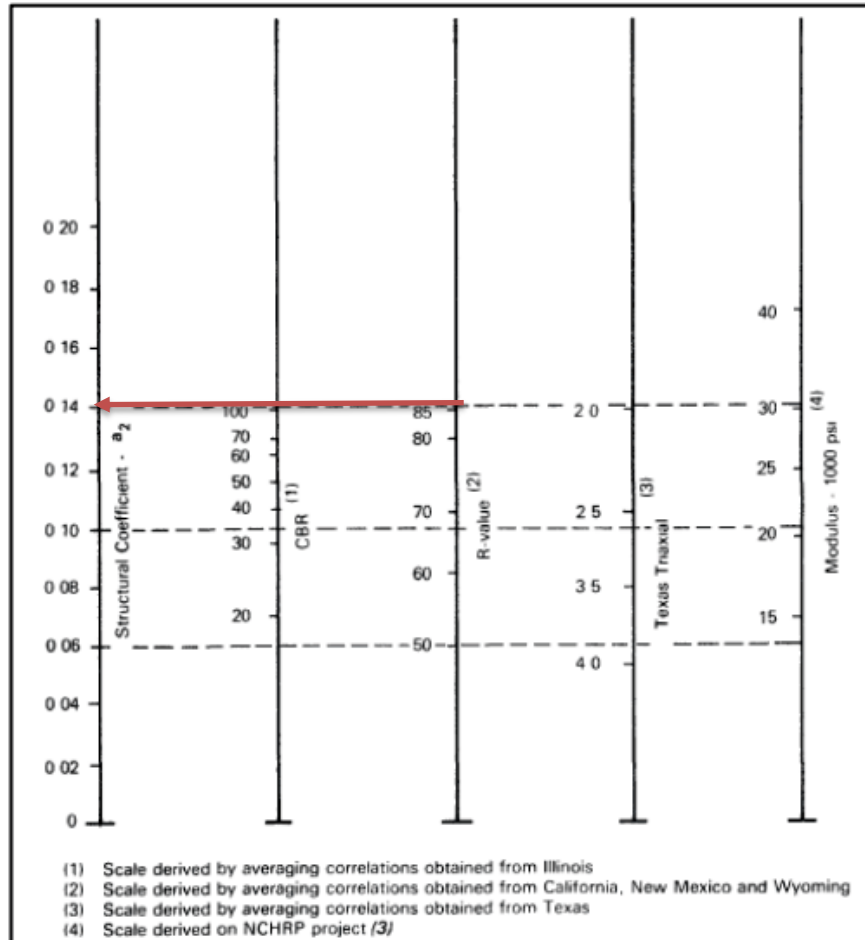


Fig. 31. Estimación del Coeficiente Estructural a_2 de la capa de base granular. Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1993).

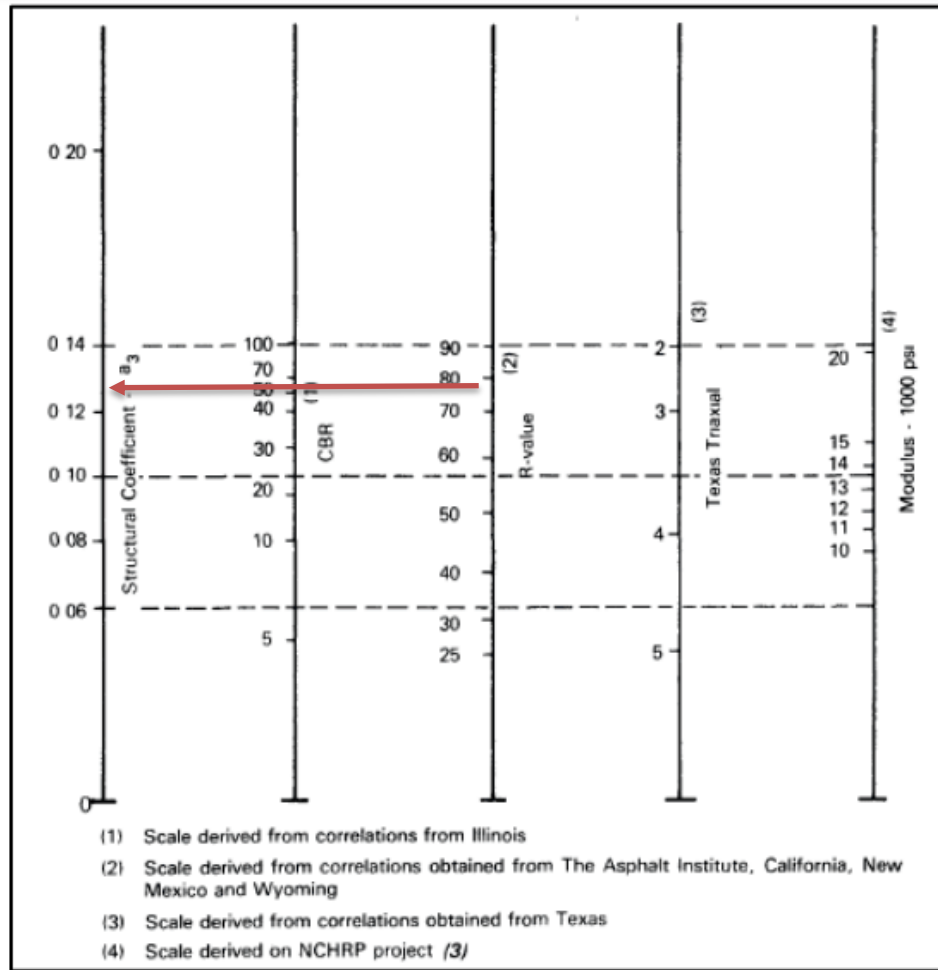


Fig. 32. Estimación del Coeficiente Estructural a_3 de la capa de subbase granular. (Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1993).

O bien, se pueden utilizar las fórmulas que la guía de la AASHTO ofrece para calcular los valores de capa a_2 y a_3 , respectivamente, que son las siguientes:

$$a_2 = 0.249 * \log(Esb) - 0.977$$

$$a_3 = 0.227 * \log(Esb) - 0.839$$

En donde:

Esb: módulo resiliente de la base (expresado en psi)

Para la capa base granular:

$$Esb = 30,000 \text{ psi}$$

Y para la capa subbase granular

$$Esb = 17,000 \text{ psi}$$

Por lo que, se calcula el valor de coeficiente a_2 y a_3 para cada una de las capas.

$$a_2 = 0.249 * \log(30,000) - 0.977$$

$$a_2 = 0.137$$

$$a_3 = 0.227 * \log(Esb) - 0.839$$

$$a_3 = 0.227 * \log(17,000) - 0.839$$

$$a_3 = 0.121$$

Si se comparan los resultados obtenidos por los ábacos, se encuentra que existe una diferencia mínima entre ambos resultados, se procede entonces, a utilizar los obtenidos por las fórmulas al ser un resultado más exacto.

$$SN = 0.45 \times 2.00 + 0.137 * 5.91 * 1.00 + 0.121 * 7.87 * 1.10$$

$$SN = 2.76$$

La estructura se ha calculado en adelante utilizando la base granular como sustituto. Utilizando el número estructural original, la subbase granular sustituye a la base granular, que se convierte entonces en un valor numérico mediante el cálculo de valores propios similares. El nombre de este nuevo espesor es D_3' .

$$SN = a_1 * D_1 + a_3 D_3' m_3$$

$$2.76 = 0.45 * 2.00 + 0.121 * D_3' * 1.10$$

$$D_3' = \frac{2.76 - 0.45 * 2.00}{0.121 * 1.10}$$

$$D_3' = 13.97 \text{ pulgadas}$$

Se volvieron a calcular los espesores de la capa de subbase reforzada. Un valor de coeficiente de contribución de la geomalla a la capa granular de la estructura utilizando una geomalla MacGRID EG de 40 KN/m, en este caso dado por la geomalla biaxial con una subrasante con CBR = 8%, es:

$$LCR = 1.57$$

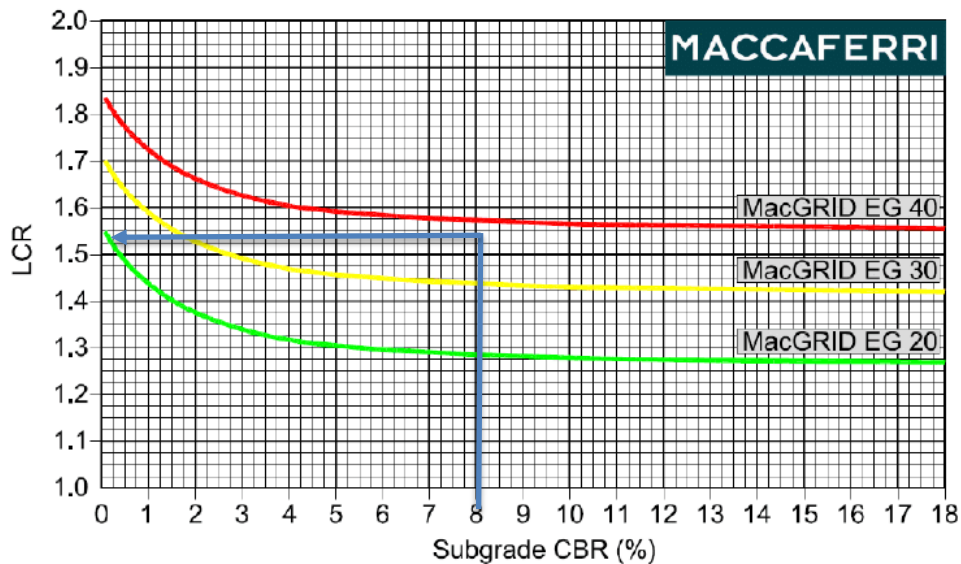


Fig. 33. Coeficiente de relación de Maccaferri EG Geogrids: LCR vs. CBR de la Subrasante (Maccaferri, 2005).

Durante los cálculos, los datos iniciales del número estructural deben mantenerse constante para tener en cuenta la contribución de la geomalla a la estructura del firme y extraer una reducción del espesor.

Utilizando el coeficiente LCR en lugar de la ecuación del número estructural, se calculó el nuevo espesor de la capa granular teniendo en cuenta la armadura como componente crucial de la estructura.

$$SN_{gr} = a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m$$

$$D_{3r} = \frac{SNr - a_1 D_1}{a_3 * LCR * m_3}$$

$$D_{3r} = \frac{2.76 - 0.45 * 2.00}{0.121 * 1.57 * 1.10}$$

$$D_{3r} = 9.25 \text{ pulgadas}$$

El N° estructural de la capa granular se calculó después de determinar el nuevo espesor de la capa granular utilizando la geomalla biaxial.

$$SN_{gr} = a_3 \times D_3 \times m_3$$

$$SN_{gr} = 0.125 * 9.25 * 1.10$$

$$SN_{gr} = 1.27$$

Los nuevos espesores de estas capas deben determinarse utilizando el N° estructural de la capa de subbase adquirido en la etapa anterior y con sus correspondientes coeficientes de capa, ya que la estructura sigue conservando la misma conformación de materiales de base y subbase.

$$SN_{gr} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$1.27 = 0.137 * 5.91 * 1.00 + 0.121 * D_{3r} * 1.10$$

Para hallar los espesores de capa adecuados para la construcción, se utilizó una técnica iterativa, ya que sólo hay una ecuación y dos incógnitas. No se aconseja que este número baje de 15 cm (6") para el espesor de la cimentación granular. Al resolver la cuestión, el grosor de la subbase granular se resta de la ecuación mientras se mantiene constante el grosor de la base granular, es decir, el grosor mínimo requerido de 15 cm.

Se elige un espesor de base asumido $D_{2r} = 15 \text{ cm (6 pulg)}$.

$$SN_{gr} = a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$D_{2r} = \frac{SN_{gr}}{a_2 * m_2} - a_3 * D_{3r} * m_3$$

$$D_{2r} = \frac{1.27 - (0.121 * 6.00 * 1.10)}{0.137 * 1.00}$$

$$D_{2r} = 3.44 \text{ pulgadas}$$

La contribución estructural se confirmó con la adición de la geomalla biaxial y una revisión de las alturas de los tapones de material granular. Las alturas previstas cambian a menudo para facilitar la construcción y garantizar la solidez constructiva de la estructura. Es necesario asegurarse de que los números estructurales de las caperuzas granulares y reforzadas sean lo más comparables posible para garantizar que la fluctuación de estos espectros no repercuta en el rendimiento de la estructura.

$$0.137*5.91*1.00 + 0.121*3.44*1.10 = 1.27$$

Por lo tanto, es correcto.

Tabla 19. Representa los espesores alcanzados debido a la inclusión de la geomalla biaxial.

Capa	Espesor inicial "D" sin Geomalla (cm)	Espesor "D" a aplicar con Geomalla (cm)
Asfáltica	5.00	5.00
Base	15.00	15.00
Subbase	20.00	7.00

4. ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN

4.1. Plan de acción

Para llevar a cabo una presentación estratégica de los resultados de este proyecto, se pretenden utilizar formas que en el apartado siguiente serán descritas. Para poder realizar un plan correcto y que sea atractivo para el auditorio a presentar se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) Tener muestras físicas representativas de las geomallas que se usaron en esta investigación.
- b) Mostrar fotografías reales de los principales trabajos.
- c) Presentar los resultados oficiales de los laboratorios utilizados para la realización de pruebas físicas.
- d) Mostrar una comparativa económica mediante uso de tablas e imágenes.
- e) Ubicar las plantas y las empresas en donde se pueden encontrar las geomallas.
- f) Por último, presentar las conclusiones y resultados del trabajo de investigación.

4.2. Estrategias a utilizar

Presentar los resultados ante las dependencias principalmente la SCT y asociaciones como la AMIVTAC, que están involucradas en la construcción de vías terrestres en el territorio nacional, con la finalidad de difundir las principales conclusiones y recomendaciones del experimento realizado en este proyecto de investigación.

El aporte de las geomallas a la hora de construir vías en México se conoce poco, por lo tanto, es de suma importancia difundir las propiedades que algunas de ellas tienen. Si bien, en algunos países de Europa, Norteamérica y Sudamérica se han implementando en la construcción de vías y han mostrado buen desempeño, con el desarrollo de este proyecto, se comprobó que el efecto de la implementación de algunos tipos de geomallas en la construcción de carreteras es viable, positivo y

puede traer ahorros económicos, así como una menor explotación de los bancos de materiales.

Es necesario entonces, persuadir a todos los involucrados en el área de la construcción de vías terrestres, a mirar hacia nuevos rumbos, presentando este proyecto de intervención, ya que, la tecnología que se utilizó, además de tener muestras representativas reales de la experimentación, se realizó junto a profesionales certificados en el diseño de mezclas asfálticas, el cómo es posible reducir los espesores de las capas de los pavimentos; es decir, tener un ahorro económico, además de que con este, se explotarían menos los bancos de materiales y presentar un novedoso método de construcción para no quedarnos atrás en un mundo que va en constante evolución y cambio.

5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1. Cronograma de actividades

En la tabla 20 se indican las principales actividades y los mes en los que se pretenden realizar con el fin de divulgar los resultados de este proyecto de investigación.

Tabla 20. Cronograma de proyecto de investigación.

Actividad	Julio 2023	Agosto 2023	Septiembre 2023
Difusión de Proyecto de Intervención en la UAS	✓		
Publicación de Artículo en revista AMIVTAC bajo asesoría y recomendación del delegado de la Asociación en Sinaloa.		✓	
Presentación en la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes con el fin de divulgar el uso de geosintéticos en las carreteras.			✓

5.2. Recursos

A continuación, se enlistan los recursos que serán necesarios para la realización correcta del plan de acción, en este caso, el software MacREAD Pavement Design funcionará para facilitar a la audiencia la correcta comprensión del tema y del proyecto en general. Además, será necesaria la adquisición de una membresía en la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres con el fin de tener la oportunidad de publicar el artículo en una edición de la revista bimestral.

Tabla 21. Recursos requeridos para la ejecución del plan de acción de manera correcta.

Recursos	Costo
Software MacREAD Pavement Design	Se cuenta con licencia
Inscripción AMIVTAC	\$3,000
Total	\$3,000

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones y recomendaciones

Con base al análisis de resultados de este proyecto de investigación, en el cual, se realizaron cálculos estructurales del pavimento mediante la metodología de la AASHTO 93, pruebas físicas con la Rueda Cargada de Hamburgo, uso del software MacREAD Pavement Design y el análisis económico realizado, se concluye que:

En México, el uso de estas tecnologías (geosintéticos) a la hora de la construcción y reconstrucción de vías terrestres, es todavía un tema que se debe investigar para poder iniciar con el uso de estos, y de esa forma, evaluar de una mejor manera el comportamiento de las vías a largo plazo.

Es necesario seguir investigando las propiedades que este tipo de materiales aportan a las vías terrestres, para poderle dar una mayor difusión sobre su uso, y sobretodo, del impacto que puede traer al estado de las carreteras.

Con respecto a los resultados analizados con el uso de la geomalla de fibra de vidrio, estos no se recomiendan para evaluar la deformación permanente en la carpeta asfáltica, esto, debido a que, tras los resultados arrojados de laboratorio, en promedio, los núcleos extraídos con la inclusión de la geomalla consiguieron una deformación permanente tras 20,000 pasadas en la RCH de un (1) mm más que en los núcleos que no tenían geomalla integrada. Además, que los costos y tiempos de construcción serían más altos.

Con respecto al cálculo estructural de los pavimentos mediante la metodología de la AASHTO, el uso de geomallas biaxiales de polipropileno resultó útil, esto, debido a que se comprobó que es posible reducir los espesores de capas de pavimento como base y subbase lo cual, traería un ahorro económico considerable, además de que la explotación de los bancos de materiales para la construcción de vías terrestres disminuiría considerablemente.

Si bien, en el caso del uso del software, se determinó que el costo total por metro cúbico, incluyendo todas las capas que integran un pavimento resultó mayor al

incluir la geomalla en la capa subbase; considerando el costo en un kilómetro de construcción de la capa analizada, es posible deducir que el costo por m^3 de subbase no reforzada es de \$425.97 (Cuatrocientos veinte cinco pesos 97/100 M.N.), y el costo de subbase reforzada con geomalla de polipropileno grado 40 es de \$763.08, sin embargo, la cantidad de material necesaria para la construcción de un kilómetro de esta capa, reduciría considerablemente con la inclusión de geomalla, es decir, para el caso de una carretera tipo A2, la cantidad necesaria sin la inclusión de la geomalla es de $2,450 m^3$, y la cantidad de material con la inclusión de la geomalla de polipropileno grado 40 es de $1,050 m^3$, por lo que, si se habla de costos, se resume en lo siguiente:

Para la capa de subbase no reforzada

$$\$425.97 * 2,450 m^3 = \$1,043,625.50$$

Para la capa de subbase reforzada

$$\$763.08 * 1,050 m^3 = \$801,234.00$$

Entonces, se tendría un ahorro económico por la cantidad de \$242,391.50 al incluir el refuerzo de la geomalla.

Se recomienda el uso del Software MacREAD Pavement Design a la hora de diseñar y predimensionar pavimentos con la inclusión de geomallas.

Para futuras investigaciones, se recomienda extraer los núcleos en tiempos mayores, como a los 6 y 12 meses para medir deformaciones con el uso de la geomalla después del paso del tránsito.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. (1993). "Guide for design of pavement structures". American Association of State Highway Officials, Washington, D.C., 1-10.

Aguerreberre, R. & Cepeda, F. (1992). "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras". Publicación Técnica No. 30.- Instituto Mexicano del Transporte, 50.

Alvarado Sánchez, S. (2012). Análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de carretera. Tecnológico de Costa Rica, 40.

Álvarez Cruz, L. & Bermudez Manriquez, W. (2020). Análisis comparativo del uso de geomallas biaxiales como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles. Universidad Piloto de Colombia, 187.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for Design of Pavement Structures, 1-55.

Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC, A.C). (2013). "Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013: Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño".

Ayala del Toro, Y., Delgado Alamilla, H., Guzmán Ortiz, D., & Salazar Rivera, A. (2018). Manual de ensayos para laboratorio, "Mezclas asfálticas en caliente (MAC) Parte I para el cálculo de volumetría y ensayos de desempeño". Publicación técnica núm. 516. San fandila, Qro., 41-48.

Ayala Salvador, S., Ludeña Ucharima, J., Peralta Palacios, S., Pinto Laurente, J. & Raygada, R. (2021). Propuesta Técnico-económica de un Diseño con Pavimento Reforzado con Geomalla para Garantizar Estabilidad y Transitabilidad Vehicular en Suelos Tropicales Tramo Villa el Pescador - Masisea - Coronel Portillo - Ucayali. Universidad San Ignacio de Loyola, 56.

Bermejo Escalante, L., Cuisiche Mendoza, E. & Leandro Pérez, C. (2020). Simulación y diseño de pavimento flexible reforzado con geomallas para la reducción de la estructura del pavimento en el tramo toccto – condorccochoa.

Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, 60.

Caballeros Torres, E. (2006). Utilización de la geomalla como refuerzo de la Estructura Del Pavimento Flexible. Universidad de San Carlos de Guatemala, 49.

Corro, S & Prado, G. (1992). "Proyectos de investigación dirigidos al desarrollo tecnológico. Estudio del método actualizado de diseño de pavimentos, 50.

Corro, S., Magallanes, R. & Prado, G. (1981). "Instructivo para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras". Series Instituto de Ingeniería - UNAM, No. 444, 20.

Cruz, E. (2013). Influencia de geomallas en los parámetros mecánicos de materiales para vías terrestres. Universidad Nacional Autónoma de México, 70.

Díaz, J., Escobar, O & Olivo, E. (2009). Aplicación De Los Geosintéticos En La Estructura De Los Pavimentos Y En Obras De Drenaje Para Carreteras. Universidad de El Salvador, 65.

Gavilanes Dávila, N. (2012). Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua-La Maná. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 54.

Geosistemas Pavco S.A. (2008). Especificaciones Generales de Construcción con Geosintéticos, 10.

Giraud, J.P. & Han, J. (2004). "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads: method development and calibration. Journal of Geotechnical Engineering", ASCE.

Giroud, J.P. & Noiray, L. (1981). "Geotextile-reinforced unpaved road design". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 107, 1233-1254.

Huang, Yang H. (1991). "Prediction of Fatigue Cracking and Rutting in Asphalt Pavements. SHRP, 9.

IMT. (1991). "Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras

Mexicanas”. Instituto Mexicano del Transporte, 67.

IMT. (2020). “Datos viales de la red nacional”. Instituto Mexicano del Transporte, 1-16.

Jasim, A.F., Fattah, M.Y., & Al-Saadi, I.F.. (2021). Geogrid reinforcement optimal location under different tire contact stress assumptions. *Int. J. Pavement Res. Technol.* 14, 357–365. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0145-6>

Jeans Marco, M. (2017). Evaluación Técnico - Económico del Uso de Geomall Multiaxial como refuerzo de la Subrasante de la Carretera Santa Cruz - Bellavista, Distrito Bellavista - Jaén - Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, 67.

Marín de la Plaza, A. (2010). Empleo de geosintéticos en el refuerzo e impermeabilización de firmes. Nuevas tecnologías para la Conservación de Firmes. Técnico/ Departamento de Geosintéticos. COMPOSAN construcción Pp. 449- 458.

MohammadReza S. & Nader G. (2021). Laboratory evaluation of geogrid-reinforced flexible pavements. *Journal of transportation engineering*, 4(2021)100070. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100070>

Montestruque, G. (2010). Simulación a través de Método de Elementos Finitos la inclusión de geomalla como sistema Anti-Reflexión de Fisuras. UARCP, 20.

Núñez Condori, A. (2016). Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geo-sintéticos. Universidad Nacional Del Altiplano, 40.

Orrego Cabanillas. (2014). Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. Pontificia Universidad Católica del Perú, 50.

Perkins, S.W. & Cortez, E.R. (2005). Evaluation of base-reinforced pavements using a heavy vehicle simulator. *Geosynthetic International*, 12 (2), pp. 86-98. Doi: <https://doi.org/10.1680/gein.2005.12.2.86>

Ramírez Gutiérrez, M. (2013.) La geogrilla de fibra de vidrio, en el marco de la

mecánica de materiales, como alternativa para la reparación de pavimentos. URP. 221.

Rico A., Téllez R., & Garnica P. (1998), "Pavimentos Flexibles. Problemática, Metodologías de diseño y tendencias", Publicación Técnica No. 104, Instituto Mexicano del Transporte, 55- 58.

Sanjay Kumar Shukla, J. (2006). Fundamentals of Geosynthetics of Engineering. General Description and functions of Gesoynthetics. University Of Hong Kong, 1-43.

Santalla, J. (2007). Aumento de la vida útil del asfalto mediante el empleo de geocompuestos antireflexión de fisuras. Huesker Geosintéticos, S.A., 49.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2011). Subbases y bases. CTR: Construcción, 1-11.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2019). Programa de trabajo, 1-103.

Segunda parte D.F.", Instituto de Ingeniería, UNAM. (1992). Informe de Investigación a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes N° 9529, 30.

Serment Guerrero, V. (2011). Evolución Histórica de los pavimentos asfálticos y métodos de diseño de pavimento. XXIV Congreso Mundial de Carreteras, México, D.F., 25-29.

Tolentino Hipolo, K. (2021). Geomallas biaxiales para mejorar la subrasante de bajo valor de soporte california de un pavimento flexible. Pucusana, 49.

U.S. Army Corps of Engineers. "USACE". (2003). Use of Geogrids in Pavement Construction. Engineering and design. ETL 1110-1-189. USA

U.S. Army corps of engineers. (2003). Use of geogrid in pavement construction, Technical Letter No. 1110, 1-1899.

USACE por Jersey S., & Tingle, J. (2010). "Geogrid Reinforcement of Thin Asphalt Pavements; Full Scale-Accelerated Pavement Test". USA.

Vargas Jiménez, J., Moncayo Theurer, M, Córdova Rizo, J., Maza, C., Barzola Zambrano, I., Velasco Cevallos, G., Salcedo, I., Guzgñay, J. & Lucio, S. (2017). La geomalla como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles. *Ingeniería*, Vol. 21, n° 1, 61.

Villegas Silva, D. (2019). Diseño del pavimento asfáltico utilizando geomallas de fibra de vidrio en Urbanización el Ingeniero I, Chiclayo , 45.

Webster, S. L. (1993). "Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavements for Light Aircraft: Test Section Construction, Behavior Under Traffic, Laboratory Tests, and Design Criteria,". Technical Report, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 93-6.

Lizárraga López, J. (2013). Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles Aplicando Geomallas de Polipropileno como Sistema de Reforzamiento Estructural. Universidad Nacional Autónoma de México.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de laboratorio de pavimentos – núcleos de pavimento flexible sin refuerzo



CONCOC, S.A. DE C.V.

JOSE MARIA MORELOS No. 5665, CAMPO EL DIEZ, CULLIACÁN, SINALOA

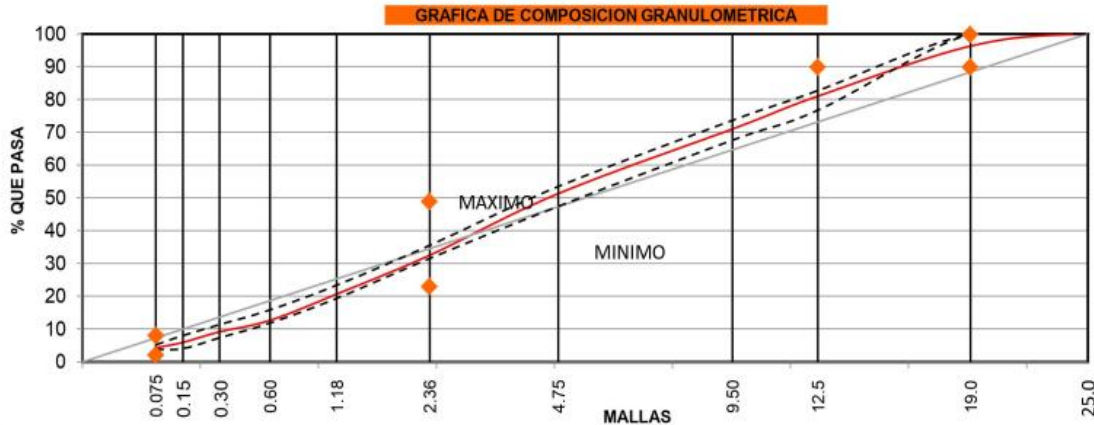
C.P. 80300, TEL.:667-750-44-60, RFC: CON-080128-T26

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PETREOS PARA PROTOCOLO AMAAC

P.I. "EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMALLAS."	ENSAYE NUMERO:	8
	FECHA DE RECIBO:	16 de mayo de 2022
	FECHA DE INFORME:	1 de junio de 2022

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	GRAVA TRITURADA DE 3/4" A No. FINOS PARA USARSE EN CARPETA ASFÁLTICA AMAAC
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO	MEZCLADO Y HOMOGENIZADO EN PLANTA
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO	TOMADA DE LA BANDA DE LA PLANTA DE ASFALTOS
	UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETREO	AUTOPISTA MAZATLAN-CULLIACAN KM. 122+500 DES. DER. DE 5000MTS

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PETREO	P.E. SECO SUELTO KG/M ³		1537		CARACTERÍSTICAS		
	MALLAS	DISEÑO	% QUE PASA	DE CONTROL		AGREGADO GRUESO	ESPECIFICACION
	COMPOSICION GRANULOMETRICA	Num. 37.5	100.0	100.0	100	100	GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA G _{sb}
Num. 25.0		100.0	100.0	100	100	DESGASTE LOS ANGELES %	16.50 30 MAX.
Num. 19.0		97.4	96.3	90	100	DESGASTE MICRODEVAL %	6.10 15 MAX.
Num. 12.5		79.7	81.0	-	90	INTEMPERISMO ACELERADO %	SULF. Na 8.50 15 MAX.
Num. 9.5		70.6	71.0	-	-		SULF. Mg - 20 MAX.
Num. 4.75		50.4	51.3	-	-	CARAS FRACTURADAS, (2 CARAS O MAS)	92.80 90 MIN.
Num. 2.36		33.5	32.5	23	49	FORMA DE LA PARTICULA (REL. 5:1) PLANAS Y ALARGADAS)	1.34 10 MAX.
Num. 1.18		21.3	20.6	-	-	DESPR. POR FRICCION %	8.00 20 MAX.
Num. 0.60		13.8	12.6	-	-	AGREGADO FINO	
Num. 0.30		9.3	9.1	-	-	EQUIV. DE ARENA %	61.00 55 MIN.
Num. 0.15	6.0	5.9	-	-	ANGULARIDAD %	46.00 40 MIN.	
Num. 0.075	4.5	4.2	2	8	AZUL DE METILENO	11.00 12 MAX.	



OBSERVACIONES:

INFORMES DEL AGREGADO EN PLANTA DE ASFALTOS EN TRAMO DE PRUEBA
EL MATERIAL ANALIZADO CUMPLE CON NORMATIVA PA-MA 02/2016²

EL JEFE DEL LABORATORIO	EL JEFE DEL CENTRO DE CALIDAD	Ing. Bol
ING. CARLOS TRIGUEROS MONTAÑO	ING. DENIS ARTURO MELENDEZ LÓPEZ	ING. JOAN ANDREY ALARCÓN ITURRÍOS



CONCOC, S.A. DE C.V.

JOSE MARIA MORELOS No. 5665, CAMPO EL DIEZ, CULIACÁN, SINALOA

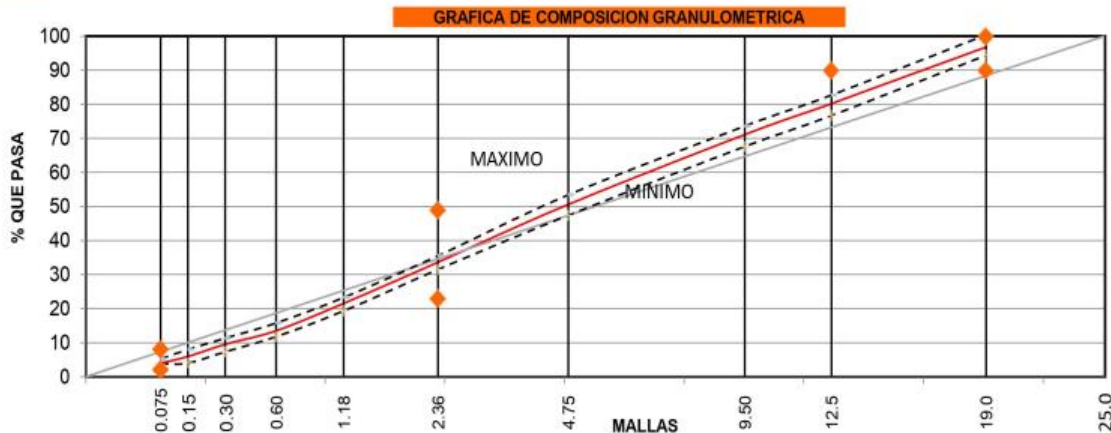
C.P. 80300, TEL.:667-750-44-60, RFC: CON-080128-T26

INFORME DE ENSAYES PARA MEZCLA PARA PROTOCOLO AMAAC

P.I. "EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMALLAS."	ENSAYE NUMERO:	9
	FECHA DE RECIBO:	16 de mayo de 2022
	FECHA DE INFORME:	1 de junio de 2022

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	GRAVA TRITURADA DE 3/4" A No. FINOS	PARA USARSE EN	MEZCLA ASF. PROTOCOLO AMAAC
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO		MEZCLADO Y HOMOGENIZADO	
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO		TOMADA DE LA BANDA DE LA PLANTA DE ASFALTOS	
	UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETREO		AUTOPISTA MAZATLAN-CULIACAN KM. 122+500 DES. DER. DE 5000MTS	

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PETREO	P.E. SECO SUELTO KG/M ³					CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA			ESPECIFICACION
	MALLAS	DISEÑO	% QUE PASA	DE CONTROL		Densidad específica del agregado, (gr/cm ³)	Gse	2.601	
COMPOSICION GRANULOMETRICA	Num. 37.5	100.0	100.0	100	100	Contenido de asfalto, efectivo, (%)	Pbe	5.09	
	Num. 25.0	100.0	100.0	100	100	Contenido de asfalto, absorbido, (%)	Pba	1.07	
	Num. 19.0	97.4	96.8	90	100	Gravedad específica bruta mezcla, (gr/cm ³)	Gmb	2.270	
	Num. 12.5	79.7	80.2	-	90	Gravedad específica teó máx mezcla, (gr/cm ³)	Gmm	2.366	
	Num. 9.5	70.6	71.1	-	-	Vacios de aire en la mezcla asfáltica, (%)	Va	4.11	4.0 (± 0.3)
	Num. 4.75	50.4	50.6	-	-	Vacios en el agregado mineral, (%)	VAM	14.80	13 MIN
	Num. 2.36	33.5	33.6	23	49	Vacios ocupados por el asfalto, (%)	VFA	72.50	65 - 78
	Num. 1.18	21.3	21.5	-	-	Proporción del polvo	Dp	0.77	0.6 - 1.2
	Num. 0.60	13.8	13.5	-	-	% Gmm inicial		87.80	89 MAX
	Num. 0.30	9.3	9.5	-	-	% Gmm diseño		95.90	96 (± 0.3)
	Num. 0.15	6.0	5.9	-	-	Resistencia a la tensión indirecta%	TSR	91.20	80 MIN
	Num. 0.075	4.5	3.9	2	8	CARACTERÍSTICAS ESPECIMENES (NUCLEOS)			ESPECIFICACION
	CONTENIDO ASFALTO MEZCLA		6.72%	6.60 ± 0.30		Gravedad específica bruta mezcla, (gr/cm ³)	Gmb	-	2.275
CONTENIDO ASFALTO PETREO		7.18%	7.07 ± 0.30		Gravedad específica teó máx mezcla, (gr/cm ³)	Gmm	-	2.370	
					Resistencia a la tensión %	TSR	-	80 MIN	
					Vacios de aire en la mezcla asfáltica, (%)	Va	-	4.0 (± 0.3)	



OBSERVACIONES:

LA MEZCLA ASFALTICA ES ACEPTABLE DE ACUERDO A DISEÑO

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	EL CLIENTE
ING. CARLOS TRIGUEROS MONTAÑO	ING. DENIS ARTURO MELENDEZ LÓPEZ	ING. JOAN ANDREY ALARCÓN ITURRÍOS



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

INFORME DE RIEGOS DE IMPREGNACION LIGA X

P.I. "EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMALLAS."	ENSAYES NUMERO <u>11</u>
	FECHA DE RECIBO <u>16 de mayo de 2022</u>
	FECHA DE INFORME <u>1 de junio de 2022</u>

REPORTE DE CAMPO No.	11	HORA DE INICIO	12:30	HORA DE TERMINACION	14:30
PRODUCTO ASFALTICO EMPLEADO	ECR - 65	CANTIDAD RECOMENDADA	0.75 LTS/M2	TEMPERATURA DE APLIC. PROM.	65 °C
ADITIVO EMPLEADO	NINGUNO			CANTIDAD EMPLEADA	NINGUNA
EQUIPO DE BARRIDO	BARREDORA	PROFUNDIDAD MEDIA DE MAT. SECO			
CONDICIONES DEL CLIMA	MAYORMENTE SOLEADO	TEMPERATURA AMBIENTE			30° C

No. DE ENSAYE	FECHA	DE Km.	A Km.	LONGITUD mts.	CUERPO	CARRIL	ANCHO MTS. PROMEDIO	AREA M2	PRODUCTO ASFALTICO APLICADO		TEXTURA Y ACABADOS DE LA CAPA ANTES DE SU IMPREGNACION
									Lts/m ²	LITROS	
11	16-may-22	108+231	108+631	400.00	A	ALTA	3.80	1520.00	0.76	1150.00	FRESADA

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

LAS CANTIDADES DE PRODUCTO ASFALTICO APLICADO ESTAN DE ACUERDO A LO INDICADO EN EL PROYECTO PARA CARPETA ASFALTICA.

<p>EL JEFE DEL LABORATORIO</p> <p>ING. CARLOS FIGUEROA MONTAÑO</p>	<p>EL JEFE DEL CONTROL DE CALIDAD</p> <p>ING. DENIS ARTURO MEINEN DREZ LOPEZ</p>	<p>ING. JOAN ANDREY ALARCÓN ITURRÍOS</p>
--	--	--



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

INFORME DE TEMPERATURAS Y TENDIDO DE MEZCLA ASFALTICA ELABORADA EN CALIENTE

P.I. "EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMALLAS."

ENSAYE NUMERO 10
 FECHA DE RECIBO 16 de mayo de 2022
 FECHA DE INFORME 1 de junio de 2022

PLANTA EN Km. AUTOPISTA MAZATLAN - CULIACAN, KM. 121+500 DES. DER. DE 5000MTS										ESPEJOR DE PROYECTO DE LA CAPA 10.00 cm		ESPEJOR DE LA CAPA ANTES DE COMPACTAR 13.00 cm		
VIAJES		HORAS			TEMPS. DE LA MEZCLA °C			TENDIDO					OBSERVACIONES	
CAMION No.	VOL. M3	SALIDA DE PLANTA	LLEGADA AL TRAMO	DESCARGA EN TRAMO	AL SALIR DE LA PLANTA	AL TENDER	AL COMPACTAR	DE Km.	A Km.	CARRIL	CUERPO	ANCHO m.		
1TNF259	7	14:50	15:42	16:15	180	165	158	108+231	108+260	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
7TNE965	14	15:10	15:55	16:20	180	166	159	108+260	108+320	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
6TNE827	14	15:25	16:10	16:23	180	165	160	108+320	108+360	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
6TNE857	14	15:36	16:25	16:30	180	166	160	108+360	108+420	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
7TNE930	14	15:48	16:35	16:38	180	166	161	108+420	108+465	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
4TND660	14	16:00	16:48	16:50	180	167	159	108+465	108+510	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
1TNF259	14	16:14	16:58	17:00	180	166	160	108+510	108+570	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
6TNE857	7	16:30	17:15	17:18	180	165	159	108+570	108+631	ALTA	A	3.80	SEGUNDA CAPA	
A MAZATLAN ←								108+231	108+661					
BAJA												CUERPO B		
ALTA														
ALTA								2 da CAPA						
BAJA												CUERPO A		
EL JEFE DEL LABORATORIO								EL JEFE DEL CONTROL DE CALIDAD				A CULIACAN →		
ING. CARLOS TRIGUEROS MONTAÑO								ING. DENIS A. MELENDREZ LOPEZ				ING. JOAN ANDREY ALARCÓN ITURRÍOS		



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

RUEDA CARGADA DE HAMBURGO (HWT)

A continuación, se presentan datos de la mezcla asfáltica encontrada en el tramo para la determinación de Susceptibilidad a la Humedad y a la Deformación Permanente por Rodería, por medio del Analizador de la Rueda Cargada de Hamburgo (HWT).

18 de mayo de 2022

Muestra tomada en el Km.- 108+300 carril de alta, en cuerpo A en autopista Mazatlán - Culiacán, para ensayos No. 1 y 2, respectivamente.

MEZCLA SOMETIDA A ENSAYE	CONTENIDO ASFÁLTICO EN %	DENSIDAD GMB	VACIOS	NO. DE PASADAS	DEFORMACIÓN EN MM
ENSAYE NO. 1	6.61	2.204	6.84	20.000	2.93
ENSAYE NO. 2	6.58	2.198	7.10	20.000	2.95
ESPECIFICACION	6.60 (± 0.3)			20.000	10.00 Máx.

*G.m.m= 2.366 de día

CONCOC, S.A. DE C.V.

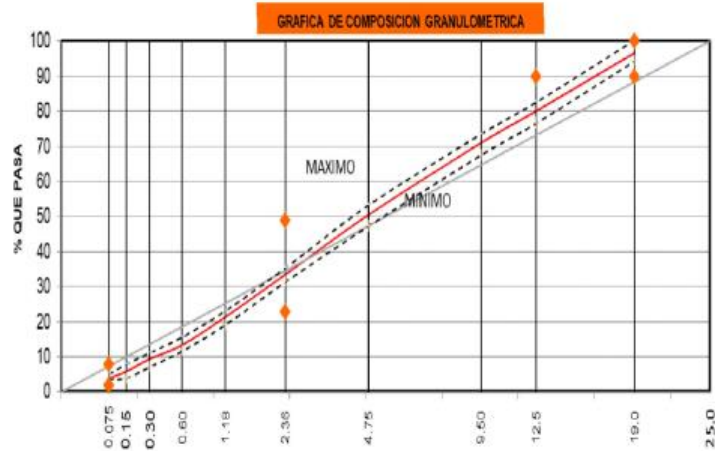
José María Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclab@hotmail.com



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

GRANULOMETRIA OBTENIDA DEL TRAMO DE PRUEBA, CON RESPECTO AL DISEÑO



COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	DISEÑO	% QUE PASA	DE CONTROL	
	Num. 37.5	100.0	100.0	100	100
	Num. 25.0	100.0	100.0	100	100
	Num. 19.0	97.4	96.8	90	100
	Num. 12.5	79.7	80.2	-	90
	Num. 9.5	70.6	71.1	-	-
	Num. 4.75	50.4	50.6	-	-
	Num. 2.36	33.5	33.6	23	49
	Num. 1.18	21.3	21.5	-	-
	Num. 0.60	13.8	13.5	-	-
	Num. 0.30	9.3	9.5	-	-
	Num. 0.15	6.0	5.9	-	-
	Num. 0.075	4.5	3.9	2	8

CONCOC, S.A. DE C.V.

José maria Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclub@hotmail.com



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD (T.S.R.)

El objetivo principal de esta prueba es determinar si una mezcla asfáltica es susceptible a deformaciones por la acción de la humedad.

18 de mayo de 2022.

Muestra tomada en el Km.- 108+300 carril de alta, en cuerpo A, en autopista Mazatlán - Culiacán, para ensayos No. A1, A2, A3, A4, A5 Y A6.

PRUEBAS	OBTENIDO DEL DISEÑO	ESPECIFICACIONES
SUCEPTIBILIDAD INDUCIDA POR HUMEDAD TSR	89.50%	80 % MÍN.

IDENTIFICACIÓN DEL ESPECIMEN		1	2	3	4	5	6
ACONDICIONAMIENTO		SIN ACONDICIONAR			CON ACONDICIONAMIENTO		
DIAMETRO, (mm)	D	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESPEJOR, (mm) DESPUES DEL LABRADO	t	6.78	6.91	6.755	6.81	6.773	6.89
MASA DEL ESPECIMEN EN AIRE, g	A	1147.3	1148.1	1146.5	1145.9	1148.9	1148.8
MASA DEL ESPECIMEN SSS, g	B	1149.2	1150.5	1148.5	1149.2	1151.6	1151.8
MASA SUMERGIDA EN AGUA, g	C	630.3	633.1	631.1	631.6	632.5	631.5
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm ³	E	518.9	519.4	518.3	517.6	519.1	520.3
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA	Gmb	2.211	2.210	2.212	2.214	2.213	2.208
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA	Gmm	2.366	2.366	2.366	2.366	2.366	2.366
VACIOS	Va	6.55	6.58	6.51	6.43	6.46	6.68
VACIOS EN VOLUMEN, cm ³	Va' cm³	34.0	34.2	33.7	33.3	33.5	34.8
TIEMPO DE SATURACIÓN, MIN.		8.0	8.0	8.0	NO APLICA		
PRESIÓN DE VACIO, CM ²	P	20.0	20.0	20.0			
MASA DEL ESPECIMEN SSS, g	B'	1174	1174.4	1171.6			
VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDA, cm ³	J'	26.7	26.3	25.1			
GRADO DE SATURACION (%)	S'	78.6	77.0	74.4			
CARGA, N	P'	842.27	862.67	883.06	826.98	813.72	817.80
ESFUERZO EN SECO (2000P/Td), kPa	S₁	790.87	794.78	832.23			
ESFUERZO EN HUMEDO (2000P/Td), kPa	S₂				772.86	764.85	755.85
ESFUERZO PROMEDIO, Kpa		806.0			764.5		
T.S.R.%		94.9					

CONCOC, S.A. DE C.V.

José maria Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclub@hotmail.com



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

Conclusiones:

Como se puede observar en la tabla anterior los resultados obtenidos son aceptables conforme a diseño.

Cabe mencionar que los valores de T.S.R. Son satisfactorios.

Se anexa formato de impresión de la maquina (Rueda Cargada de Hamburgo HWT). Y Álbum fotográfico

Atentamente

Ing. Denis Arturo Melendrez López
Jefe del Control de Calidad

Ing. Carlos Trigueros Montaña
Jefe del Laboratorio

Ing. Joan Andrey Alarcón Iturríos
Vo. Bo.

CONCOC, S.A. DE C.V.

José maría Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclab@hotmail.com



Report singol test

General Data

Final rut depth	2,93	End	Cycle number
Failure test	NO	Void Percentage	On sample
Density		Feedback used	3766
Type of thermal medium	Water	in Cycles	8796
Max Temp	52,0 °C		
Min Temp	49,2 °C		
Customer	<Generic>		

Mixture

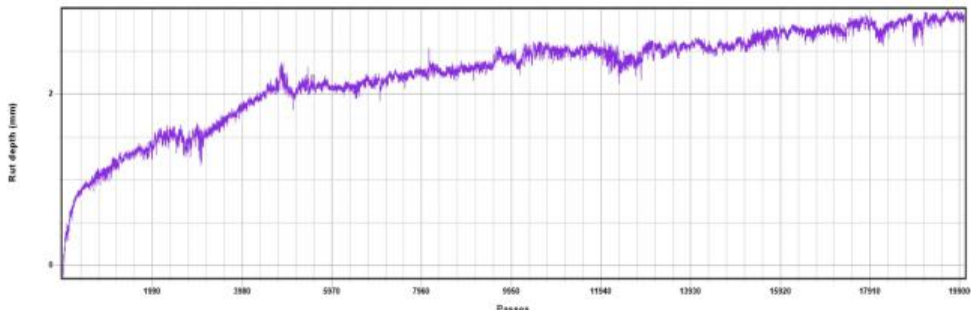
Mixture	AUT.MAZ-CUL.2022		
Aggregate	Type	Weight (%)	Spec. weight (kg/m3)
Filler	GRAVA-ARERNA	95,00	0
Bitumen	POLVO DE TRIT	5,00	0
Calculated Max Density	PG 76-22	6,75	0
Production Date	0 Kg/m ³	Production Type	PROD CONT-P DE ASF
Compaction Type	05/2022	Time conditioning	SOLEADO
	RODILLO Y NEUMATICO		

Start data test

Sample on test	2	Sample Number	2
ID Sample	_02	Sample Name	108+300
Date	30/05/2022 15.09.09	Sample Type	Double Cores
Lenght		Width	
Diameter	150,00 mm	Thikness	88,20 mm
Weight	2,678 Kg	Age	10 dd
Max Rut depth	10,00	Max Number cycles	20000
Test Temp	50,0 °C	Wheels speed	53,0 pass/min
Time to start	30 min	Operator	ING. DENIS MELENDREZ
Cond. cycles	20 pass	Temp Limit.	1,0 °C

Test processing

Processing type No Procedure





Report singol test

General Data

Final rut depth	2,95	End	Cycle number
Failure test	NO	Void Percentage	On sample
Density		Feedback used	0
Type of thermal medium	Water	in Cycles	8756
Max Temp	51,5 °C		
Min Temp	48,9 °C		
Customer	<Generic>		

Mixture

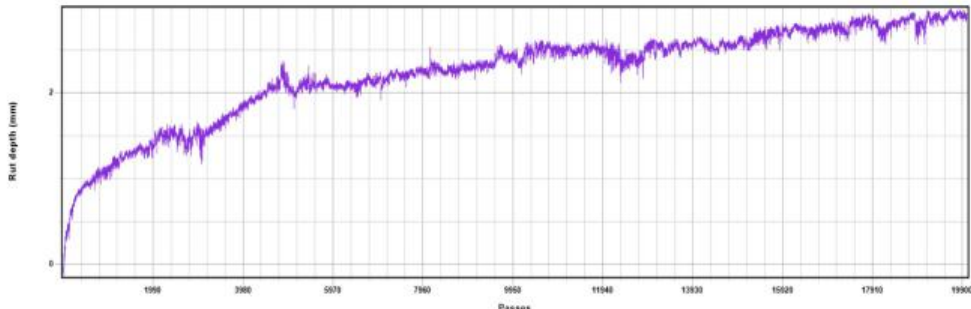
Mixture	AUT.MAZ-CUL.2021		
Aggregate	Type	Weight (%)	Spec. weight (kg/m3)
Filler	GRAVA-ARERNA	95,00	0
Bitumen	POLVO DE TRIT	5,00	0
Calculated Max Density	PG 76-22	6,75	0
Production Date	0 Kg/m ³	Production Type	PROD CONT-P DE ASF
Compaction Type	06/2022	Time conditioning	SOLEADO
	RODILLO Y NEUMATICO		

Start data test

Sample on test	1	Sample Number	1
ID Sample	_01	Sample Name	108+300
Date	30/05/2022 15.09.09	Sample Type	Double Cores
Lenght		Width	
Diameter	150,00 mm	Thikness	86,50 mm
Weight	2,567 Kg	Age	10 dd
Max Rut depth	10,00	Max Number cycles	20000
Test Temp	50,0 °C	Wheels speed	53,0 pass/min
Time to start	30 min	Operator	ING. DENIS MELENDREZ
Cond. cycles	20 pass	Temp Limit.	1,0 °C

Test processing

Processing type No Procedure



**Anexo 2. Ensayos
de laboratorio de
pavimentos –
núcleos de
pavimento flexible
reforzados con
geomalla de fibra
de vidrio**



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

RUEDA CARGADA DE HAMBURGO (HWT)

A continuación, se presentan datos de la mezcla asfáltica encontrada en el tramo para la determinación de Susceptibilidad a la Humedad y a la Deformación Permanente por Roder, por medio del Analizador de la Rueda Cargada de Hamburgo (HWT).

18 de mayo de 2022

Muestra tomada en el Km.- 108+300 carril de alta, en cuerpo A en autopista Mazatlán - Culiacán, para ensayos No. 1 y 2, respectivamente.

MEZCLA SOMETIDA A ENSAYE	CONTENIDO ASFÁLTICO EN %	DENSIDAD GMB	VACIOS	NO. DE PASADAS	DEFORMACIÓN EN MM
ENSAYE NO. 1	6.61	2.204	6.84	20,000	3.67
ENSAYE NO. 2	6.58	2.198	7.10	20,000	3.70
ESPECIFICACION	6.60 (± 0.3)			20,000	10.00 Máx.

*G.m.m= 2.366 de día

CONCOC, S.A. DE C.V.

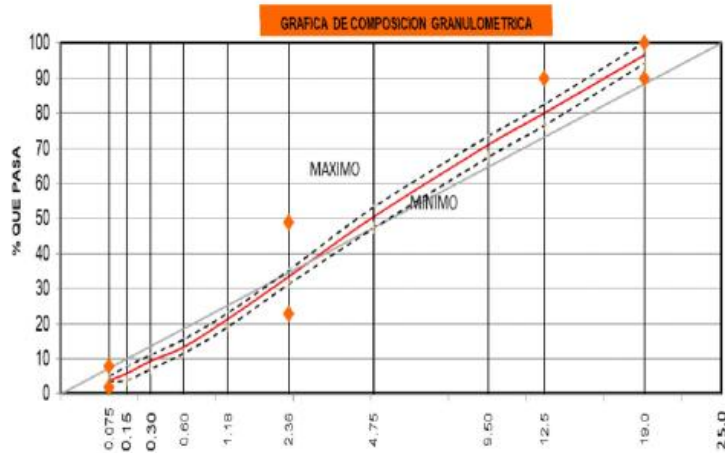
José maria Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclub@hotmail.com



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

GRANULOMETRIA OBTENIDA DEL TRAMO DE PRUEBA, CON RESPECTO AL DISEÑO



COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLAS	DISEÑO	% QUE PASA	DE CONTROL	
	Num. 37.5	100.0	100.0	100	100
	Num. 25.0	100.0	100.0	100	100
	Num. 19.0	97.4	96.8	90	100
	Num. 12.5	79.7	80.2	-	90
	Num. 9.5	70.6	71.1	-	-
	Num. 4.75	50.4	50.6	-	-
	Num. 2.36	33.5	33.6	23	49
	Num. 1.18	21.3	21.5	-	-
	Num. 0.60	13.8	13.5	-	-
	Num. 0.30	9.3	9.5	-	-
	Num. 0.15	6.0	5.9	-	-
	Num. 0.075	4.5	3.9	2	8

CONCOC, S.A. DE C.V.

José maría Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclub@hotmail.com

PRUEBAS	OBTENIDO DEL DISEÑO	ESPECIFICACIONES
SUCEPTIBILIDAD INDUCIDA POR HUMEDAD TSR	89.50%	80 % MÍN.

IDENTIFICACIÓN DEL ESPECIMEN		1	2	3	4	5	6
ACONDICIONAMIENTO		SIN ACONDICIONAR			CON ACONDICIONAMIENTO		
DIAMETRO, (mm)	D	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESPELOR, (mm) DESPUES DEL LABRADO	t	6.9	6.91	6.755	6.81	6.773	6.89
MASA DEL ESPECIMEN EN AIRE, g	A	1152.1	1155.1	1154.3	1156.6	1147.6	1150.3
MASA DEL ESPECIMEN SSS, g	B	1155.1	1158.6	1156.9	1159.6	1150.3	1154.3
MASA SUMERGIDA EN AGUA, g	C	630.3	633.3	631.1	633	626.0	631.0
VOLUMEN DEL ESPECIMEN, cm ³	E	524.8	525.3	525.8	526.6	524.3	523.3
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA	Gmb	2.195	2.199	2.195	2.196	2.189	2.198
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA	Gmm	2.366	2.366	2.366	2.366	2.366	2.366
VACIOS	Va	7.21	7.06	7.21	7.17	7.49	7.09
VACIOS EN VOLUMEN, cm ³	Va' cm³	37.9	37.1	37.9	37.8	39.3	37.1
TIEMPO DE SATURACIÓN, MIN.		8.0	8.0	8.0	NO APLICA		
PRESIÓN DE VACIO, CM ³	P	20.0	20.0	20.0			
MASA DEL ESPECIMEN SSS, g	B'	1180.6	1182.2	1182.2			
VOLUMEN DE AGUA ABSORBIDA, cm ³	J'	28.5	27.1	27.9			
GRADO DE SATURACION (%)	S'	75.3	73.1	73.6			
CARGA, N	P'	794.35	806.58	797.41	711.75	704.61	709.71
ESFUERZO EN SECO (2000P/Td), kPa	S₁	732.89	743.11	751.51			
ESFUERZO EN HUMEDO (2000P/Td), kPa	S₂				665.17	662.29	655.95
ESFUERZO PROMEDIO, Kpa		742.5			661.1		
T.S.R.%		89.0					



CONCOC, S.A. DE C.V.

SERVICIOS DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRA CIVIL

Conclusiones:

Como se puede observar en la tabla anterior los resultados obtenidos son aceptables conforme a diseño.

Cabe mencionar que los valores de T.S.R. Son satisfactorios.

Se anexa formato de impresión de la maquina (Rueda Cargada de Hamburgo HWT). Y Álbum fotográfico

Atentamente

Ing. Denis Arturo Melendrez López
Jefe del Control de Calidad

Atentamente

Ing. Carlos Trigueros Montaña
Jefe del Laboratorio

Ing. Joan Andrey Aiarcón Iturríos
Vo. Bo.

CONCOC, S.A. DE C.V.

José maria Morelos no. 5665, Campo el diez, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80300, Tel. 6672611099, e-mail: concoclab@hotmail.com



Report singol test

General Data

Final rut depth	3,67	End	Cycle number
Failure test	NO	Void Percentage	On sample
Density		Feedback used	3766
Type of thermal medium	Water	in Cycles	8796
Max Temp	52,0 °C	in Cycles	
Min Temp	49,2 °C		
Customer	<Generic>		

Mixture

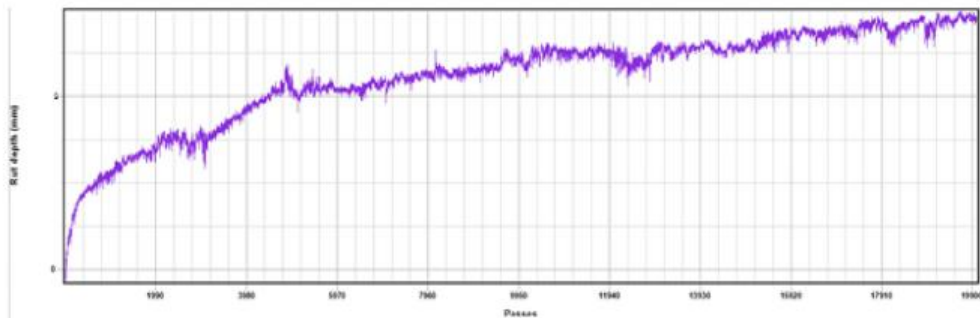
Mixture	AUT.MAZ-CUL.2021		
Aggregate	Type	Weight (%)	Spec. weight (kg/m3)
Filler	GRAVA-ARERNA	95,00	0
Bitumen	POLVO DE TRIT	5,00	0
	PG 76-22	6,75	0
Calculated Max Density	0 Kg/m^3	Production Type	PROD CONT-P DE ASF
Production Date	20/10/2020	Time conditioning	SOLEADO
Compaction Type	RODILLO Y NEUMATICO		

Start data test

Sample on test	2	Sample Number	2
ID Sample	_02	Sample Name	108+300
Date	30/05/2022 15.09.09	Sample Type	Double Cores
Lenght		Width	
Diameter	150,00 mm	Thikness	88,20 mm
Weight	2,678 Kg	Age	10 dd
Max Rut depth	10,00	Max Number cycles	20000
Test Temp	50,0 °C	Wheels speed	53,0 pass/min
Time to start	30 min	Operator	ING. DENIS MELENDREZ
Cond. cycles	20 pass	Temp Limit.	1,0 °C

Test processing

Processing type No Procedure





Report singol test

General Data

Final rut depth	3,70	End	Cycle number
Failure test	NO	Void Percentage	On sample
Density		Feedback used	0
Type of thermal medium	Water	in Cycles	8756
Max Temp	51,5 °C	in Cycles	
Min Temp	48,9 °C		
Customer	<Generic>		

Mixture

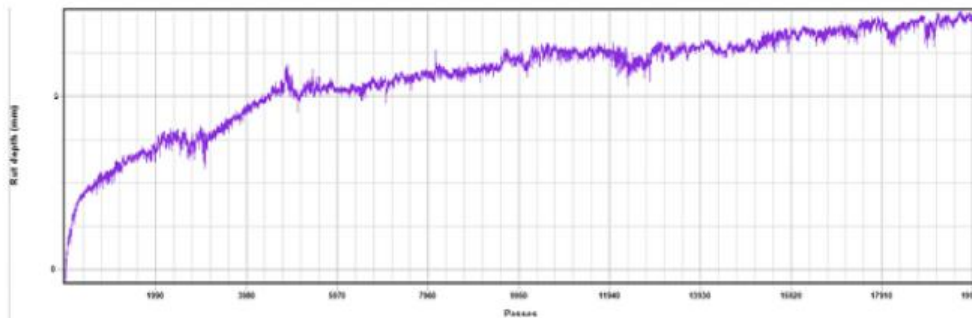
Mixture	AUT.MAZ-CUL.2021		
Aggregate	Type	Weight (%)	Spec. weight (kg/m3)
Filler	GRAVA-ARERNA	95,00	0
Bitumen	POLVO DE TRIT	5,00	0
	PG 76-22	6,75	0
Calculated Max Density	0 Kg/m^3	Production Type	PROD CONT-P DE ASF
Production Date	20/10/2020	Time conditioning	SOLEADO
Compaction Type	RODILLO Y NEUMATICO		

Start data test

Sample on test	1	Sample Number	1
ID Sample	_01	Sample Name	108+300
Date	30/05/2022 15.09.09	Sample Type	Double Cores
Lenght		Width	
Diameter	150,00 mm	Thikness	86,50 mm
Weight	2,567 Kg	Age	10 dd
Max Rut depth	10,00	Max Number cycles	20000
Test Temp	50,0 °C	Wheels speed	53,0 pass/min
Time to start	30 min	Operator	ING. DENIS MELENDREZ
Cond. cycles	20 pass	Temp Limit.	1,0 °C

Test processing

Processing type No Procedure



Anexo 3. Diseño de carretera alimentadora

1. Tránsito

Cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) y otros parámetros de diseño.

Para el cálculo de los Esal's se utilizó el método simplificado, a continuación, se detalla la ecuación del método:

$$\text{No. ESALs} = \text{TPDA} \times P \times g \times \text{LC} \times \text{LD} \times \text{TF}$$

Dónde: TPDA = Tráfico Promedio Diario Anual (vehículos/día)

P = Número de Vehículos

por Año g = Factor de

Crecimiento |

LC = Factor Direccional

LD = Factor de Distribución por Carril

TF = Factor de Camión (todos los vehículos pesados)

Tramo hipotético carretera alimentadora para trabajo de tesis:

T.P.D.A (Proyectado a 20 años)	474 Vehículos
Clasificación de la vía	Carretera alimentadora
Terreno	Plano
Velocidad de diseño	50 Km/h
Número de Vehículos por Año (P) =	86,505
Factor de Crecimiento (g) =	(5% Crecimiento Anual) = 33,07 (Periodo de Diseño 20 años)

Factor Direccional =	0,5
Factor de Distribución por carril =	1
Factor de Camión (Vehículos pesados) =	2,1

Tránsito de Diseño en ejes equivalentes a 8.2 Ton acumulado proyectado es:

- Para pavimentos flexibles: **6,007,513** ejes equivalentes a 8.2 Ton.
/ (Valor definitivo de ESAL's para el Diseño final)

1.1. Subrasante

La metodología AASHTO-93 evalúa la subrasante a partir del módulo resiliente. Para el proyecto se establecen dos escenarios:

- Zona en terraplén: a partir de un CBR equivalente asumido del 7%,
Modulo resiliente de diseño de 8876,74 PSI.

2. NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

Para diseñar las estructuras de pavimento utilizando el método AASHTO es necesario determinar el número estructural requerido para soportar el tránsito esperado, para tal fin se despeja este valor de la siguiente fórmula:

$$\log W_{18} = z_R \times s_o + 9.36 \log(SN + 1) + 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.2}\right)}{0.40 + \left(\frac{1.094}{(SN + 1)^{0.19}}\right)} + 2.32 \log M_v - 8.07$$

Para el diseño de la estructura se asumen los siguientes parámetros de diseño:

NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SNR)

-Iterativo Manual
-Iterativo Automático
-Ábaco AASHTO

ESAL	6,00E+06
CBR	7,00 %
MR Subrasante (Psi)	8876,743076
TIPO DE TRAFICO TP	TP8
NUMERO DE ETAPAS	1
NIVEL DE CONFIABILIDAD R (%)	90%
Coefficiente Estadístico De Desviación Estándar Normal (ZR)	-1,28155157
Desviación Estándar Combinada (So)	0,46
Serviciabilidad Inicial (Pi)	4
Serviciabilidad Final o Terminal (PT)	2,5
Variación de Serviabilidad (Δ PSI)	1,5

Basados en la metodología AASHTO-93, la estructura a proponer será la obtenida mediante la siguiente expresión:

$$SN = a^1 \cdot D^1 + a^2 \cdot D^2 \cdot m^2 + \dots a^n \cdot D^n \cdot m^2 \text{ Dónde:}$$

a^1 , a^2 y a^n : Coeficientes estructurales de las capas que componen la estructura, que para el caso seguiremos las recomendaciones que la Guía Metodológica del Invia nos relaciona (Parte 5).

D^1 , D^2 y D^n : Espesores de las capas del pavimento.

m^2 y m^n : Coeficiente de drenaje de las capas del pavimento.

En la siguiente tabla se relacionan los coeficientes estructurales y de drenaje empleados en el diseño:

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL ai (cm ⁻¹)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	a1	0,170	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a1	0,125	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Micropavimento 25mm	a1	0,130	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa	a1	0,25 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a1	0,15 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico ≤ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a2	0,052	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a2	0,054	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 500 lb)	a2a	0,115	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a2b	0,070	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a2c	0,080	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a3	0,047	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	a3	0,050	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE

	a1	a2	a3
Componente	Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 oF)	Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS
Observación	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico ≤ 15'000,000 EE

m1	m2
1,15	1,15

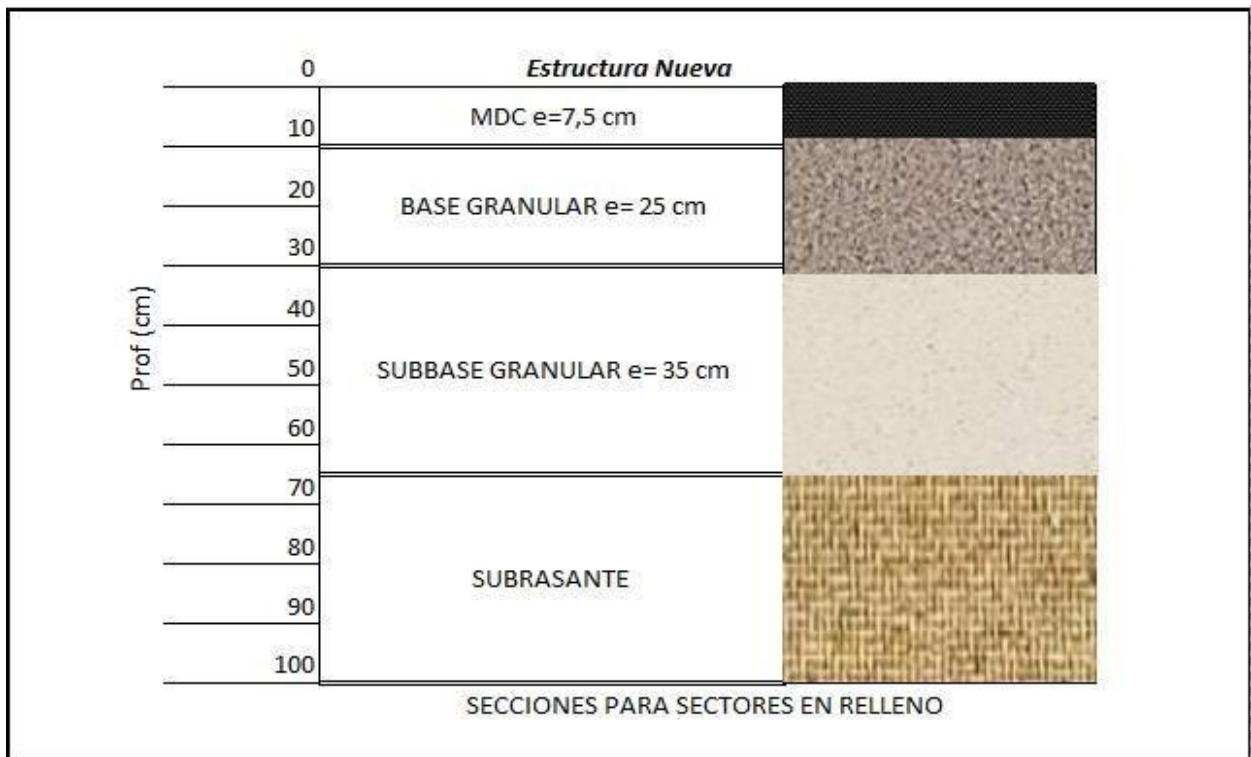
D1	D2	D3
7,5 cm	25,0 cm	35,0 cm

Finalmente se proyecta una estructura de pavimento con una sub-rasante mejorada (si lo requiere) + SBG + BG + Mezcla Densa. En la siguiente tabla se resumen los resultados del diseño la estructura de pavimento en una carretera alimentadora.

Tabla. Memorias de Diseño.

TRAMO	DESCRIPCION ALTERNATIVA	SECTOR	Mr Subrasante (PSI)	W18-CARRIL DE DISEÑO	SN REQUERIDO	ESTRUCTURA NUEVA											
						SUBBASE GRANULAR				BASE GRANULAR				CONCRETO ASFALTICO MDC			SN ESTRUCTURA NUEVA
						a	m	D3 (cm)	SN	a	m	D2 (cm)	SN	a	D1 (cm)	SN	
X	Diseño para trabajo de tesis	X	8876,74	6,00E+06	4,508	0,047	1,15	35,00	2,45	0,052	1,15	25,00	1,75	0,17	7,50	0,52	4,72

Tabla. Esquema de la Estructura Propuesta.



Anexo 4.
Resultados de
diseño obtenidos
de MACREAD
Pavement Design

● **Información de Proyecto**

Título EVALUACIÓN DEL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE LDS PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE GEOMALLAS

Numero #2563

Título JOAN ANDREY ALARCÓN ITURRÍOS

Autor/Diseñador JOAN ANDREY ALARCÓN ITURRÍOS

● **Input**

Capa Superficial

Coefficiente de Capa	0.17
Profundidad mínima	0.09

Base de Rodadura

Coefficiente de capa	0.052
Coefficiente de drenaje	1.15
Profundidad mínima	0.15
CBR [%]	100

Nivel de Sub-base

Coefficiente de capa	0.047
Coefficiente de drenaje	1.15
Profundidad mínima	0.15
CBR [%]	40

Subrasante

CBR [%]	7
Módulo Resiliente	8877

Dato de Tráfico

Nivel de confiabilidad	90
Error combinado estándar	0.46
Indice Inicial de servicio	4
Indice Terminal de superficie	2.5

TOTAL ESAL / Día	N.A.
Total números de pasadas	N.A.
Análisis de Periodo (años)	N.A.
Tráfico compuesto durante el período de análisis	N.A.
Volumen Total de tráfico Durante el Período de Análisis	N.A.
Total design ESAL, W18	6,007,513

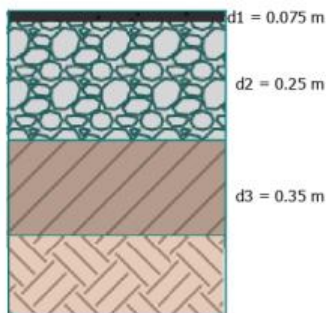
Número Estructural S.N.	4.72
--------------------------------	------

Refuerzo

Sub Base Geogrid	MacGRID EG 40S
LCR	1.57
LCR	

● **Resultados**

No Reforzado



Reforzado

2. Reduced layer depth

