

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DEFORMACIÓN Y RESISTENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON TOBA VOLCÁNICA Y MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEFORMATION AND STRENGTH OF ASPHALT MIXTURE WITH VOLCANIC TOBA AND TRADITIONAL ASPHALT MIXTURE.

Autores: ¹Danny Damián Arciniegas Benítez y ²Efraín Leoncio Ríos Intriago

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4377-6987>

¹E-mail de contacto: darciniegasb@ulvr.edu.ec

²E-mail de contacto: eriosi@ulvr.edu.ec

Artículo recibido: 28 de Marzo del 2021

Artículo revisado: 3 de Abril del 2021

Artículo aprobado: 30 de Abril del 2021

¹Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (Ecuador).

²Tecnólogo en Ciencias Navales egresado del Instituto Superior Centro Tecnológico Naval (Ecuador). Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (Ecuador).

Resumen

La mezcla asfáltica en caliente es la combinación de áridos con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla. La desventaja de las mezclas asfálticas tradicionales es su deformación, resistencia, durabilidad, utilizada en la carpeta asfáltica, la cual presenta pocos años de vida útil, debido a los agregados gruesos, finos, ligante que intervienen en la dosificación de la mezcla, se producen deterioros de la mezcla asfáltica tradicional por acciones físicas, química, ambientales. La toba volcánica es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica. Esta investigación considera el uso de la toba volcánica como agregado grueso para ser utilizado en las mezclas asfálticas, con el fin de mejorar la resistencia, deformación, durabilidad de la mezcla asfáltica

Palabras claves: Mezcla asfáltica, toba volcánica, deformación, resistencia.

Abstract

Hot mix asphalt is the combination of aggregates with a binder. The relative amounts of binder and aggregates determine the physical properties of the mixture. The disadvantage of traditional asphalt mixtures is their deformation, resistance, durability, used

in the asphalt mat, which has a few years of useful life, due to the coarse and fine aggregates, binder that intervene in the dosage of the mixture. deterioration of the traditional asphalt mix due to physical, chemical and environmental actions. The volcanic tuff is a type of volcanic igneous rock, light, of porous consistency, formed by the accumulation of ash or other very small volcanic elements expelled by the vents during a volcanic eruption. This research considers the use of volcanic tuff as a coarse aggregate to be used in asphalt mixtures, in order to improve the strength, deformation, and durability of the asphalt mixture.

Keywords: Asphalt mixture, volcanic tuff, deformation, resistance.

Sumário

Asfalto misturado a quente é a combinação de agregados com um ligante. As quantidades relativas de aglutinante e agregados determinam as propriedades físicas da mistura. A desvantagem das misturas asfálticas tradicionais é sua deformação, resistência, durabilidade, utilizadas na esteira asfáltica, que possui poucos anos de vida útil, devido aos agregados graúdos e finos, aglutinantes que interferem na dosagem da mistura, são produzidos deterioração da massa asfáltica tradicional devido a ações físicas, químicas e ambientais. O tufo vulcânico é um tipo de rocha ígnea vulcânica, leve, de consistência porosa, formada pelo acúmulo de cinzas ou outros pequenos elementos vulcânicos expelidos pelas

aberturas durante uma erupção vulcânica. Esta pesquisa considera o uso de tufo vulcânico como agregado graúdo para ser utilizado em misturas asfálticas, a fim de melhorar a resistência, deformação e durabilidade da mistura asfáltica.

Palavras-chave: Mistura asfáltica, tufo vulcânico, deformação, resistência.

Introducción

La historia del uso de asfalto se remonta hace miles de años. Los primeros usos del “asfalto”, se localizan en la impermeabilización de embalses y tanques de agua. Existen indicios de carreteras (4000 a. de C.) en Iraq. En Babilonia (600 a. de C.), se localizan vías pavimentadas a base de bloques de terracota unidos por asfalto natural (Labrador, 2006).

Todas estas vías de acceso estaban basadas, fundamentalmente, en el uso de amalgamas de piedra con arena y otros materiales, y de algunas de ellas, todavía se conservan restos. Mención destacada en numerosas publicaciones, merece la llamada “Ruta de la Seda”, tanto por su longitud, como por su duración (se estima en unos 1400 años la duración de esta vía). Por esta ruta realizó Marco Polo alguno de sus innumerables viajes. (Rojo, 2020)

Los romanos fueron los que construyeron, de una forma más técnica, sus carreteras, llamadas más comúnmente calzadas por el uso de la cal. La red de comunicaciones romana era muy amplia, se estima en más de 85.000 km. con el fin de poder comunicar las diferentes provincias del Imperio. Tenían un trazado rectilíneo, con escaso número de curvas, con lo cual necesitaban una profusa utilización de obras de fábrica para poder salvar los diferentes obstáculos que se iban presentando. Hoy en día siguen siendo objeto de estudio, en la ingeniería moderna

Con el paso de los siglos, y con funciones básicas de comunicación para el comercio y la guerra, se va extendiendo la pavimentación de los caminos. Durante los siglos XV y XVI la pavimentación de los caminos se hace más extensiva, y son los franceses los primeros en realizar estudios más sistemáticos de la construcción de éstos, a ellos se debe el primer documento técnico, que data de 1.554. Todos estos antecedentes adolecían de algo que hoy parece fundamental, el mantenimiento posterior de la vía, con lo cual, su existencia solía ser bastante corta. (Rojo, 2020)

La fatiga en las mezclas asfáltica es el principal inconveniente en el deterioro de su estructura que afecta al pavimento asfáltico, esto es producido por las cargas vehiculares a la que está expuesta, produciendo pérdida en su rigidez produciendo fisuras y grietas. La vida de los pavimentos está directamente relacionada con este fenómeno por ese motivo debe realizarse las correcciones adecuadas para evitar este deterioro en su estructura. (Gómez, 2019)

El Módulo de Rigidez es una relación de tensiones y deformaciones, que particularmente en las mezclas asfálticas no se presenta como un valor único, como en el caso de otros materiales, sino como dependiente de la Temperatura de ensayo y la Frecuencia de aplicación de la carga. Para estos materiales, el Módulo de Rigidez que valora la respuesta del pavimento asfáltico ante solicitaciones dinámicas, considerando el rango de Temperaturas que pueda sufrir el pavimento en servicio, es comúnmente conocido como el Módulo Dinámico (Apas, 2017).

En líneas generales puede decirse que la variación de las propiedades dinámicas por el cambio de la Temperatura provoca una

disminución apreciable en el valor del Módulo Dinámico a medida que ésta aumenta. Por otro lado, el efecto de la Frecuencia de aplicación de la carga se manifiesta a través del movimiento de los vehículos pesados sobre la estructura, y genera módulos mayores a medida que la velocidad se incrementa, es decir a medida que aumenta la Frecuencia de carga (Apas, 2017).

Para conocer en cada caso en particular cómo esto se manifiesta en forma cuantitativa, es necesario efectuar determinaciones del módulo en laboratorio, por medio de distintos procedimientos, sometiendo a las muestras a deformación en su rango lineal, bajo cargas repetidas o cargas con velocidad de deformación controlada, registrando durante el ensayo de ambos esfuerzos (Apas, 2017).

Desarrollo

Mezcla asfáltica.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme: (Barrera Rodríguez, 2015)

- *La Función Resistente*, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- *La Finalidad*, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores se le denomina pavimento.

Arena.

La arena son granos finos compuestos de los residuos de la rocas y minerales el diámetro de este agregado varía de 0,063 mm y 2 mm. Se lo utiliza particularmente como parte de los agregados en la construcción de diversas obras así como también para relleno como material de confinamiento. (Infante, 2007).

Grava triturada.

Son rocas expuestas a la máquina de trituración con la finalidad de utilizarlas como parte del agregado grueso en las obras de construcción, estas obtienen una resistencia mayor al ser parte de una mezcla de hormigón debido a sus aristas angulosas, es un material excelente para la construcción (Castro Dorado, 2015).

Ligante asfáltico.

Los ligantes asfálticos son elaborados a partir del pitch asfáltico o residuo proveniente de la destilación del petróleo crudo (Mendonça, 2021).

Toba volcánica

Producto de violentas erupciones volcánicas, se produce una formación rocosa llamada toba volcánica. Estas formaciones son consideradas rocas ígneas extrusivas y se caracterizan por su consistencia porosa y liviana. La toba volcánica cuyo principal uso es en la industria de la construcción, es posible encontrarla en las áreas con presencia de volcanes, en distintas regiones del mundo. La composición de estas rocas puede variar de acuerdo con los minerales que intervienen en su formación (Romero-Segura, 2021).

Estas formaciones rocosas nacen a partir de las actividades volcánicas. Una condición importante para la aparición de la toba volcánica es que ocurran erupciones violentas. Cuando estas erupciones se producen, el polvo,

las partículas, las cenizas volcánicas y el magma se asientan en la superficie terrestre y se van acumulando, luego sufren un proceso de enfriamiento rápido.

Todas las partículas que son expulsadas por la erupción pueden provenir de la chimenea principal del volcán o bien, pueden ser escapes que se producen desde las grietas o fisuras en las paredes del volcán en erupción. Las grietas son canales bastante más estrechos que la abertura principal pero que se extienden desde la superficie de la tierra hasta las cámaras donde se encuentra acumulado el magma.

Luego que las partículas de roca, las cenizas y el magma, se depositan sobre la superficie terrestres, se produce un proceso llamado litificación. Este proceso es el que, finalmente, termina en la conformación de estas rocas ígneas, llamadas toba volcánica. El proceso de formación puede producirse de varias maneras. Uno de ellos consiste en partículas y magma que se acumula y queda enterrado debajo de capas de otras rocas y el proceso de endurecimiento, hasta formar piedras, se produce por compactación. Otra de las alternativas consiste en la cementación.

Esto ocurre cuando las partículas, que se encuentran a temperaturas muy elevadas, forman rocas. En este proceso, la calcita y el cuarzo se encuentran en soluciones y precipitan y van pegando las partículas a una roca. En estos casos, tanto las partículas como la roca se fusionan, debido a la temperatura y forman una toba volcánica soldada.

La toba volcánica puede estar constituida por una gran variedad de minerales, esto la diferencia de otro tipo de rocas. Individualmente, los granos que la conforman pueden ser cristalinos, vítreos o cenizos. La toba

puede contener en su interior augita, biotita, plagioclasas y leucita, pero la variedad de minerales puede ser más amplia. Debido a la presencia de numerosos minerales, podemos encontrar toba volcánica que varíen en color, aspecto o textura. Pero siempre manteniendo sus características básicas de porosidad y livianas, con resultado de su proceso de solidificación (Romero-Segura, 2021).

Pavimento flexible.

El pavimento flexible aquel está compuesto por una capa o carpeta asfáltica es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla. Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como pueden ser vías, aceras o estacionamientos. La construcción del pavimento flexible se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es poder soportar la carga total en el conjunto de capas. (Cifuentes, 2021).

Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a

pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante. (Meza, 2019)

Estructura de los pavimentos

Un pavimento es un operador que funciona a base de respuestas, cuando es activado por funciones de excitación (Bin, 2021). Físicamente el pavimento es un sistema multicapa, construido por materiales de características mecánicas conocidas, dispuestos en capas de espesor conocido. De esta manera, el pavimento está caracterizado por las propiedades, disposición y cantidad de los materiales utilizados, así como de la calidad de la construcción.

Cuando actúan sobre el pavimento funciones tales como las cargas producidas por el tránsito, se generan respuestas inmediatas del pavimento que obedecen leyes casi identificadas como estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones

El tiempo transcurrido hasta alcanzar las condiciones de falla constituye el ciclo de vida del pavimento, durante el cual, las condiciones y características del pavimento se degradan con el tiempo dando lugar a una curva de comportamiento, que refleja propiamente el nivel de servicio que el pavimento proporciona al usuario, lo cual tiene a su vez importantes implicaciones de tipo económico.

El proyecto de un pavimento debe involucrar los aspectos de diseño estructural, materiales y su disposición, tránsito, clima, aspectos constructivos y estrategias de conservación, cuya eficiencia debe juzgarse a través de su evaluación beneficio costo. (Bin, 2021)

La función de un pavimento es la de proveer una superficie de rodamiento al tránsito y distribuir las cargas aplicadas por el mismo, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles de las distintas capas del pavimento y de los suelos de fundación. Los pavimentos están formados por capas de resistencia decreciente con la profundidad. Generalmente se componen de: carpeta de rodamiento (que puede ser asfáltica o de hormigón), base y sub base apoyado todo este conjunto sobre la subrasante. En algunos casos puede faltar alguna de estas capas (Bin, 2021).

Capa subrasante

Generalmente es el terreno natural en la cual se apoya toda la estructura del pavimento, es decir que no forma parte de la estructura en sí. Sin embargo, la capacidad soporte de la subrasante es un factor básico que afecta directamente la selección de los espesores totales de las capas del pavimento. Su finalidad es resistir las cargas que el tránsito transmite al pavimento, transmitir y distribuir las cargas al cuerpo del terraplén, evitar que los materiales finos plásticos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores de pavimento. La capa superior de la capa subrasante coincide con la línea subrasante del proyecto geométrico. Es indispensable tomar en cuenta las especificaciones de la pendiente longitudinal. La altura para las obras de drenaje para que el agua capilar no afecte el pavimento (Bin, 2021).

Capas de relleno o material selecto

Es una capa compactada consistente en materiales de procedencia natural o que son sometidos a modificaciones mínimas previo a su utilización en una obra. El material que compone estas capas debe poseer mejores propiedades que la subrasante. El propósito de esta capa es alejar las cargas del tráfico de la

subrasante mediante un material con costo menor que las capas de base y subbase. Aunque las bases y las subbases tienen características semejantes, las sub bases son de menor calidad (Bin, 2021).

Capa Sub base

Es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es: Reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base. Proteger a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base. Proteger a la basura impidiendo que el agua suba por capilaridad. Transmitir y distribuir las cargas a las terracerías (Bin, 2021).

Capa Base

Es la capa de material que se construye sobre la subbase. Los materiales con los que se construye deben ser de mejor calidad que los de la subbase y su función es la de tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos. Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la sub base. Aunque exista humedad la base no debe de presentar cambios volumétricos perjudiciales (Bin, 2021).

Capa de rodadura o revestimiento asfáltico

En el caso de los pavimentos flexibles, está constituida por un material pétreo, al que se adiciona un producto asfáltico que tiene por objeto servir de aglutinante. Esta capa trasmite las cargas inducidas por el tráfico hacia la capa de base en la que se apoya, además que provee una superficie adecuada para el rodamiento del tráfico. También debe poseer la menor permeabilidad posible, con el fin de que el agua

superficial drene en su mayor parte sobre ésta, reduciendo la cantidad de agua que llegue a la base. En general, la carpeta de rodamiento de mayor calidad se construye con mezcla asfáltica producida y colocada en caliente (Bin, 2021).

Asfalto

Es un material aglomerante oscuro, constituido por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles con alto peso molecular; originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre, denominados Asfaltos Naturales, o por medio de procesos de destilación industrial cuyo componente predominante es el Bitumen (Montejo-Ávila, 2021).

Los asfaltos destilados del petróleo son producidos ya sea por destilación por vapor o soplados. La destilación por vapor produce un excelente asfalto para pavimentos, mientras que el producto de destilación por aire o soplado tiene una escasa aplicación en pavimentación.

- *Obtención y tipos*

Según el origen del petróleo crudo la composición de base se divide en: -

- Base Asfáltica
- Base Parafínica
- Base Intermedia

Los asfaltos de base asfáltica, es decir, asfaltos obtenidos de petróleos asfálticos, son más deseables para pavimentación, ya que tienen buenas características ligantes y de resistencia al envejecimiento por acción del clima. Los asfaltos de base parafínica se oxidan lentamente expuestos a la intemperie, dejando un residuo escamosos y de poco valor como ligante.

De acuerdo con su aplicación, los asfaltos los podemos clasificar en 2 grandes grupos:

- Asfaltos Industriales
- Asfaltos para Pavimentos

Éstos últimos se subdividen en:

- Cementos Asfálticos
- Asfaltos Cortados
- Emulsiones Asfálticas (Montejo-Ávila, 2021).

Proceso constructivo de pavimentos flexibles.

- a) Preparación de la subrasante.
- b) Compactación de la subrasante.
- c) Barrido de la superficie.
- d) Imprimación del ligante bituminoso sobre la superficie.
- e) Colocación del asfalto sobre la superficie, con la ayuda de una maquina terminadora.
- f) Controles de calidad.
- g) Compactación de la superficie con compactadora neumático o rodillo liso.
- h) Realización de juntas transversales. (En caso de ser necesario)
- i) Realización de juntas longitudinales. (En caso de ser necesario) (González Morgado, 2018)

Ventajas del pavimento asfáltico

La ventaja de las vías de asfalto proporciona beneficios, dentro de esto existe la eficiencia en el costeo, al igual que la disminución en el efecto de contaminación acústica, todo esto considerando que permite mejorar la movilidad de las personas del mismo modo con los servicios, siendo importante mantener el progreso en los países, principalmente de las carreteras que propician el impulso del avance socioeconómico. Por ello es importante tener presente las siguientes características:

- Fácil de construir y mantener: teniendo claro que el pavimento flexible se construye por medio de varias capas que permiten un flujo continuo del mismo

material que se encuentra en movimiento, la textura de la superficie y el ups son dos factores que se disminuyen en el uso de este tipo de pavimento.

- Es flexible: la superficie del pavimento permite que estas sean formuladas y diseñadas de modo que permita soportar las distintas cargas que genera el tráfico y por ende las condiciones climáticas del lugar donde se establezca.
- Re-utilizable 100%: el asfalto en la construcción es posible reciclarlo, esto se debe a que los pavimentos de asfalto son sostenibles, lo que incurre en menos uso de betún para crear nuevo asfalto, puesto que es posible crear casi un 100% de asfalto regenerado. (Arévalo Prieto, 2021)

Desempeño de la carpeta asfáltica en el pavimento flexible

El concreto asfáltico, o HMA (Hot Mix Asphalt), es un material de pavimentación constituido por un ligante asfáltico y agregado mineral. El ligante puede ser un cemento asfáltico o un cemento asfáltico modificado, que actúa como un agente ligante que aglutina las partículas en una masa cohesiva. El agregado mineral o material pétreo con ciertas características de resistencia, durabilidad y graduación, al ser ligado por el material asfáltico actúa como una estructura pétreo que aporta resistencia y rigidez a la mezcla. Al incluir, tanto ligante asfáltico como material pétreo al concreto asfáltico, su comportamiento se afecta por las propiedades individuales de cada componente, y por la interrelación de estos dentro del sistema (Garnica Anguas, 2005).

Comportamiento del ligante asfáltico

La más importante característica del ligante asfáltico, muchas veces una ventaja, y a veces una desventaja, es su susceptibilidad térmica. Otro aspecto que influye de manera

determinante en el comportamiento del ligante es el tiempo de aplicación de la carga. Como el comportamiento del cemento asfáltico es dependiente de la temperatura y de la duración del tiempo de aplicación de la carga, ambos factores pueden intercambiarse.

Es decir, una baja velocidad de carga puede simularse con temperaturas elevadas, y una alta velocidad de carga puede simularse con bajas temperaturas. Por ello, los ensayos de caracterización de los cementos asfálticos deben especificar la temperatura y la velocidad de aplicación de carga, para que los resultados del ensayo sean efectivamente interpretados.

Comportamiento del agregado mineral

Los materiales pétreos empleados para la elaboración de concreto asfáltico pueden o no tener algún tipo de tratamiento previo a su utilización. La aplicación de tratamientos al agregado mineral, tienen como objeto mejorar ciertas características de la mezcla asfáltica; estos tratamientos pueden ser el lavado del agregado, el cribado o la trituración parcial o total. Independientemente de la fuente (métodos de procesamiento u origen mineralógico) se espera que el agregado provea un resistente y durable esqueleto pétreo para tolerar las repetidas aplicaciones de carga. Agregados de textura rugosa, de buena cubicidad, dan más resistencia que los redondeados. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna de una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una fuerte trabazón de las partículas, a diferencia de lo que ocurre con las partículas redondeadas, ya que tienden a deslizarse unas sobre otras.

Comportamiento de la mezcla asfáltica

El comportamiento de la mezcla asfáltica se explica mejor considerando que el cemento

asfáltico y el agregado mineral actúan como un sistema. Para una mayor compresión del comportamiento de una mezcla asfáltica, es necesario identificar los tipos básicos de deterioros que el ingeniero trata de evitar: la fisuración por baja temperatura, la fisuración por fatiga, y la deformación permanente (roderas).

Agrietamiento por baja temperatura

Este tipo de deterioro se caracteriza por la aparición de fisuras transversales que se producen con un espaciamiento notablemente uniforme. La fisuración perpendicular al eje del camino, por lo general no se asocia a las cargas del tránsito. Cuando la carpeta se encuentra sobre una losa de concreto asfáltico, el fenómeno puede atribuirse a la reflexión de las grietas que existen en la losa.

La carpeta se contrae debido a las bajas temperaturas, originando esfuerzos de tensión dentro de la capa; en algún lugar a lo largo de la carpeta se excede la resistencia a la tracción, y la capa asfáltica se fisura. El ligante asfáltico juega un papel importante en la fisuración por baja temperatura. Las mezclas asfálticas elaboradas con un cemento asfáltico de naturaleza dura o propensa a la oxidación serán más susceptibles a presentar este tipo de deterioro.

Se ha visto que el empleo de ligantes blandos y resistentes al envejecimiento, reducen notablemente la fisuración por baja temperatura; también es importante lograr mezclas asfálticas impermeables con un contenido de vacíos de aire adecuado, con el propósito de que el cemento asfáltico que constituye la mezcla no resulte excesivamente oxidado.

Agrietamiento por fatiga

La fisuración por fatiga es un deterioro que con frecuencia se produce en la huella donde las cargas pesadas se aplican. La aparición de fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella son un signo prematuro de la fisuración por fatiga; en algún momento estas fisuras iniciales se unirán con otras, causando un estado intermedio de la fisuración por fatiga dando lugar a lo que se conoce como “piel de cocodrilo”. Un estado de severidad más avanzado de la fatiga resulta con la dislocación y desprendimiento de bloques de carpeta asfáltica, bajo la acción del tránsito, con llevando a la formación de baches en la superficie de rodamiento.

Una mezcla asfáltica muy rígida tiende a oponer baja resistencia a la fatiga cuando la estructura del pavimento permite deflectar a la carpeta asfáltica. Materiales muy rígidos, altas deflexiones y altos niveles de tensiones conducen a vidas útiles, reducidas por la fatiga. El mecanismo de fatiga no puede enfocarse como un problema de los materiales exclusivamente, ya que este mecanismo se produce generalmente por un número de factores que deben generarse simultáneamente; obviamente un factor trascendental son las cargas pesadas repetidas en el pavimento.

La estructura del pavimento juega un rol central en este tipo de deterioro, ya que una subrasante con un drenaje pobre resulta en pavimentos blandos con altas deflexiones, pobres diseños y/o deficiente construcción de las capas del pavimento; así como espesores de pavimento muy delgados y rígidos, son también propensos a sufrir altas deflexiones.

Roderas

Las roderas son deformaciones plásticas en la superficie de rodamiento de un pavimento

asfáltico, que se presentan a lo largo de la zona de mayor incidencia de los neumáticos de vehículos pesados. Usualmente aparece como una depresión longitudinal con ligero levantamiento lateral del material asfáltico.

Deformación permanente en las mezclas asfálticas

La aparición de roderas en la superficie de rodamiento, aparte de afectar la funcionalidad del pavimento representa un problema serio para quienes transitan por la vía, ya que la acumulación de agua dentro de estas depresiones longitudinales suele causar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos. Es por esto que se deben establecer límites permisibles de profundidad de rodera en función de las consideraciones de seguridad.

Tipos de deformación permanente

La deformación permanente en pavimentos flexibles equivale a la acumulación de pequeñas deformaciones generadas con cada aplicación de carga. Esta deformación es irre recuperable. La aparición de roderas en un pavimento flexible se debe principalmente a dos causas: deformación permanente en las capas subyacentes, y/o deformación permanente en la carpeta asfáltica.

Deformación permanente en las capas subyacentes

La deformación se produce por la aplicación repetida de carga a la subrasante, la sub-base, o la base por debajo de la carpeta asfáltica y aunque el empleo de materiales más rígidos reduce parcialmente este tipo de deformación, el fenómeno normalmente se considera más como un problema estructural de materiales. Frecuentemente es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, y sin la suficiente profundidad para reducir a niveles tolerables la tensión sobre la subrasante cuando

las cargas se aplican. Podría ser también producto de una subrasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad.

Deformación permanente en mezclas asfálticas

Cuando una mezcla asfáltica presenta roderas, es evidente que su resistencia al corte es demasiado baja para resistir las cargas pesadas repetidas a las que está sujeta. La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente.

Las superficies de rodamiento que presentan este tipo de problema representan un peligro para el usuario, ya que los surcos que se forman retienen suficiente agua como para provocar hidroplaneo o acumulación de hielo.

Respuesta de la mezcla asfáltica a los esfuerzos de corte

La deformación permanente de las mezclas asfálticas débiles es un fenómeno asociado a las altas temperaturas. Si bien esto podría sugerir que es problema del cemento asfáltico, resulta más correcto enfocarlo como un problema conjunto del agregado y del cemento asfáltico. De hecho, la ecuación Mohr-Coulomb puede emplearse para ilustrar cómo ambos materiales pueden influir en el ahuellamiento de la mezcla asfáltica.

Para que el cemento asfáltico aporte una aceptable resistencia al corte, es deseable que su comportamiento sea lo más próximo al de un sólido elástico cuando el pavimento este sujeto a las altas temperaturas de su entorno; así, tenderá a recuperar su posición en lugar de permanecer deformado.

Los cementos asfálticos con características pobres de resistencia al corte minimizan la cohesión, y hasta cierto punto el esfuerzo normal de confinamiento; como consecuencia,

la mezcla comienza a comportarse como una masa de agregados no ligados. Para obtener una mezcla asfáltica que exhiba un ángulo alto de fricción, es necesario seleccionar un agregado de buena cubricidad (caras fracturadas) y rugosidad, con una granulometría bien graduada; de tal forma que se desarrolle un buen contacto partícula-partícula. Así, cuando la carga se aplica, las partículas se juntan y funcionan no sólo como una masa de partículas individuales, sino como una única roca elástica.

Mecanismo de la deformación permanente

La deformación permanente en mezclas asfálticas resultado de una combinación de dos factores: la densificación de la mezcla (decremento de volumen), y la deformación plástica por esfuerzos de corte. En estudios durante las pruebas del tramo AASHO e investigaciones más recientes realizadas con equipos de ruedas cargadas (Farfán Gonzales, 2021) indican que la deformación plástica (sin cambio de volumen) por esfuerzo de corte, es por mucho el principal mecanismo de deformación permanente.

De manera similar, trabajos recientes coinciden en que las roderas son producidas principalmente por flujo plástico sin que ocurra cambio de volumen (Pérez, 2021). El espesor de carpeta asfáltica es de 23 cm, mismo que se encuentra sobre una plataforma de hule con una rigidez determinada, a fin de reproducir el efecto de una subrasante con un comportamiento puramente elástico, y así todas las mediciones de la deformación permanente atribuir las solamente al concreto asfáltico.

- *Factores que influyen en la deformación permanente. Agregado pétreo.*

A continuación se describen los factores que influyen directa o indirectamente en la formación de roderas en la carpeta asfáltica;

entre los que se encuentran características propias de los materiales, el tránsito y el medio ambiente.

Granulometría

En la actualidad existe evidencia, que muestra que son deseables mezclas con granulometrías de graduaciones densas para mitigar los efectos de la deformación permanente. Cuando estas mezclas se compactan adecuadamente, resultan con menos vacíos de aire y mayor contacto entre partículas a diferencia de una granulometría abierta. Algunos investigadores han concluido que mezclas elaboradas con granulometrías abiertas del tipo gap-graded, exhiben mayor deformación que la mezclas de granulometría densa. (Herrera Moreno, 2021)

Lo anterior lo atribuyen a que en las primeras se presenta un menor contacto entre partículas; y dado que el contacto partícula-partícula en la mezcla es de mayor importancia a altas temperaturas, las mezclas de tipo gap-graded son más susceptibles de sufrir roderas bajo estas condiciones. A pesar de que lo anterior parece ser un consenso general entre los ingenieros de pavimentos, algunos investigadores han reportado mezclas de granulometría abierta del tipo open graded que han exhibido una buena resistencia a la deformación plástica. (Herrera Moreno, 2021)

Textura y angularidad

La textura y angularidad del agregado juegan un papel importante en el comportamiento de la mezcla. Se ha visto que mezclas con agregados triturados y de textura rugosa, son menos deformables que aquellas que se han elaborado con agregados redondeados, aún con la misma graduación, el efecto que tiene la angularidad del agregado para un porcentaje de vacíos dado, en la rigidez de la mezcla Burgos Ascoy, (2019) investigo la estabilidad de diferentes mezclas,

empleando las mismas curvas de graduación para todas las mezclas y diferentes porcentajes de agregados triturados y redondeados.

Tamaño máximo de la mezcla de agregados

Se han reportado que concretos asfálticos elaborados con asfaltos blandos, bajos contenidos de vacíos de aire, y tamaños máximos del agregado grandes (38 mm o mayores), han presentado buena resistencia a la deformación permanente. Conviene señalar que se ha concluido que el uso de mezclas asfálticas con tamaños máximos de agregado, de aproximadamente dos tercios el espesor de la carpeta (“large-stone” mixtures), pueden reducir la susceptibilidad a presentar roderas en las mezclas asfálticas, ya que este tipo de mezclas mitiga en gran medida el efecto de concentración de cargas que producen las altas presiones de inflado de los neumáticos.

- *Factores que influyen en la deformación permanente. Ligante asfáltico.*

El comportamiento reológico (esfuerzo y deformación) del ligante debe tomarse en cuenta en la selección del cemento asfáltico que se vaya a emplear en la fabricación de la mezcla, de tal forma que sea adecuado para las condiciones de servicio (niveles de tránsito, velocidades de aplicación de carga, temperatura, a las cuales va a estar sujeto el pavimento.

Controlando la rigidez del ligante a elevadas temperaturas se garantiza que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla, en términos de la elasticidad a altas temperaturas. Muchos investigadores han tratado de mejorar el desempeño de la mezcla a la deformación permanente mediante modificadores en el cemento asfáltico, buscando así incrementar la viscosidad a altas

temperaturas sin causar efectos adversos a la mezcla a bajas temperaturas.

La rigidez, debido al envejecimiento, contribuye a la resistencia al corte del ligante asfáltico con el tiempo, ya que su viscosidad se incrementa con las altas temperaturas. Desde luego, un cemento asfáltico demasiado rígido ayuda de manera importante en el agrietamiento por fatiga.

- *Factores que influyen en la deformación permanente. Aspectos de la mezcla asfáltica.*

Metodología de diseño

En relación con los métodos de diseño, en Estados Unidos de Norteamérica se han utilizado principalmente dos: el basado en el procedimiento Marshall, y el método que aplica el estabilómetro de Hveem. Hasta 1985, treinta y ocho estados de la Unión Americana han empleado el procedimiento Marshall más el procedimiento Hveem. Sin embargo ante los recientes incrementos del tránsito, en términos de repeticiones de carga y aplicaciones de carga por eje mayores, así como por las altas presiones de inflado de los neumáticos, se observó un incremento en el problema de la deformación permanente en la red nacional de carreteras norteamericanas, particularmente en los estados en donde se utilizó el método Marshall como procedimiento de diseño.

Contenido de asfalto

La selección de un contenido óptimo de asfalto durante la etapa de diseño es crítica en el desempeño de la mezcla. Si se seleccionan excesivos contenidos de asfalto, la aparición de roderas en la mezcla es muy probable como resultado de un bajo porcentaje de vacíos de aire de la carpeta debido a altas densidades en el lugar, después de que se haya completado la compactación por el tránsito.

Dentro del estudio nacional de deformación permanente en pavimentos asfálticos, realizado en Estados Unidos en 1987, Khandall establece que para efectos de la deformación permanente, el contenido de asfalto en la mezcla resulta de mayor relevancia que las propias características del ligante asfáltico. (Vaz, 2019)

Vacíos de aire (Va)

Los vacíos de aire tienen un efecto significativo en el desempeño de la mezcla asfáltica. Una considerable reducción de vacíos de aire en la mezcla como consecuencia de un alto contenido de cemento asfáltico provoca que estos vacíos sean llenados con asfalto debido al flujo del ligante por las altas temperaturas, y la compactación adicional de la mezcla por acción del tránsito. Bajo esta condición, el asfalto actúa como un lubricante entre los agregados afectando el contacto entre partículas, con lo cual disminuye la resistencia al corte de la masa pétreo.

Se ha observado que cuando el porcentaje de vacíos de aire de la carpeta asfáltica cae por debajo del 3%, la probabilidad de aparición de roderas en la superficie de rodamiento se incrementa significativamente. Según Vaz, (2019), los beneficios que se obtienen con las propiedades de angularidad y textura del agregado dejan de tener relevancia en el comportamiento de la mezcla cuando se incurre en rangos de porcentaje de vacíos de aire inaceptables, por debajo de 2.5%.

Vacíos en el agregado mineral (VAM)

Algunos investigadores (Sánchez Córdova, 2021) han concluido que una mezcla asfáltica resistente a la deformación permanente requiere que ésta presente bajos porcentajes de vacíos de aire en el agregado mineral (VAM); lo anterior se logra utilizando graduaciones densas. Cabe mencionar que se debe de cumplir con valores

mínimos de VAM, y de esta forma garantizar suficiente espacio para acomodar el volumen efectivo de asfalto.

Energía de compactación en el laboratorio

El mecanismo de formación de roderas comienza desde el momento en que la carpeta asfáltica es abierta al tránsito, por lo que es deseable dejar una carpeta terminada con un porcentaje de vacíos de aire de cuando menos el 8 %, para que una vez completada la densificación impuesta por el tránsito, este porcentaje de vacíos se encuentre en un rango de aproximadamente del 3 al 5 por ciento.

Esta condición de la mezcla es deseable desde el punto de vista de desempeño y durabilidad, según los métodos de diseño hoy en uso. Por lo anterior, resulta de relevancia el hecho de simular en laboratorio, tan cerca como sea posible, la compactación que se produce en el sitio de la obra. Parece ser un consenso general entre los ingenieros de pavimentos, adoptar de la compactación giratoria como método de compactación en el laboratorio, ya que el efecto de la densificación por la acción de amasado

parece reproducir de manera más fiel las condiciones en campo. (Alamilla, 2021)

Resultados

Los análisis para realizar serán de acuerdo con lo estipulado en las Especificaciones del Ministerio y Transporte de Obras Públicas, de la misma manera se obtendrá y evaluará las características técnicas y sus propiedades del agregado grueso como es la toba volcánica y su uso en la mezcla asfáltica

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil para la elaboración del proyecto investigativo, el porcentaje del material fino como es la arena se mantuvo para cada ensayo solo vario la toba volcánica, hay que destacar que adicionalmente se realizó una combinación entre los agregados grueso tradicional y toba volcánica en la utilización del cisco tradicional y el material grueso de la toba volcánica, para obtener un mejor resultado en su estabilidad y flujo y este dentro de los parámetros requeridos para la elaboración de la mezcla asfáltica no tradicional, los detalles de los ensayos se describen a continuación.

Tabla 1 Ensayo de abrasión, muestra normal (Norma INEN 860)

Muestra Ripio 3/4" y 3/8"	1	2
Peso muestra antes del ensayo	5000	5000
Peso muestra después del ensayo Ret #12	3720	3766
Peso muestra pasa #12	1280	1234
% desgaste	25.60	24.68
Promedio	25.1	
Máximo desgaste de agregados para hormigón asfáltico 40%, cumple especificación		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 2 Ensayo de abrasión, muestra con toba volcánica (Norma INEN 860)

Muestra Ripio 3/4" y 3/8"	1	2
Peso muestra antes del ensayo	5000	5000
Peso muestra después del ensayo Ret #12	3455	3592
Peso muestra pasa #12	1889	1839
% desgaste	37.78	36.78
Promedio	37.3	
Máximo desgaste de agregados para hormigón asfáltico 40%, cumple especificación		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 3 Ensayo de Granulometría de la muestra normal (Norma INEN 872)

	3/4	3/8	Fino		
% cada tolva	16.7	30.5	52.87	100.00	
	% pasa #1	% pasa #2	% pasa 3	% pasa Total	% Especifico
TAMIZ					
1" (25,0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	-
3/4" (19.0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	100
1/2" (12.7 mm)	1.00	30.23	52.87	93.1	90-100
3/8" (9.5 mm)	5.18	22.22	52.87	80.3	-
# 4 (4,75 mm)	0.26	7.65	49.39	57.3	44-74
# 8 (2,36 mm)	0.00	5.88	34.11	40.0	28-58
# 50 (0.30 mm)	0.00	0.15	12.85	13.0	5-21
# 200 (.075 mm)	0.00	0.00	5.43	5.4	2-10
Observación: Cumple especificación					

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 4 Ensayo de Granulometría de la muestra con toba volcánica (Norma INEN 872)

	3/4	3/8	Fino		
% cada tolva	16.7	30.5	52.87	100.00	
	% pasa #1	% pasa #2	% pasa 3	% pasa Total	% Especifico
TAMIZ					
1" (25,0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	-
3/4" (19.0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	100
1/2" (12.7 mm)	11.65	30.19	52.87	94.7	90-100
3/8" (9.5 mm)	6.54	22.19	52.87	81.6	-
# 4 (4,75 mm)	0.43	7.05	49.39	56.9	44-74
# 8 (2,36 mm)	0.00	6.89	39.61	46.5	28-58
# 50 (0.30 mm)	0.00	0.18	15.60	15.8	5-21
# 200 (.075 mm)	0.00	0.00	5.98	6.0	2-10
Observación: Cumple especificación					

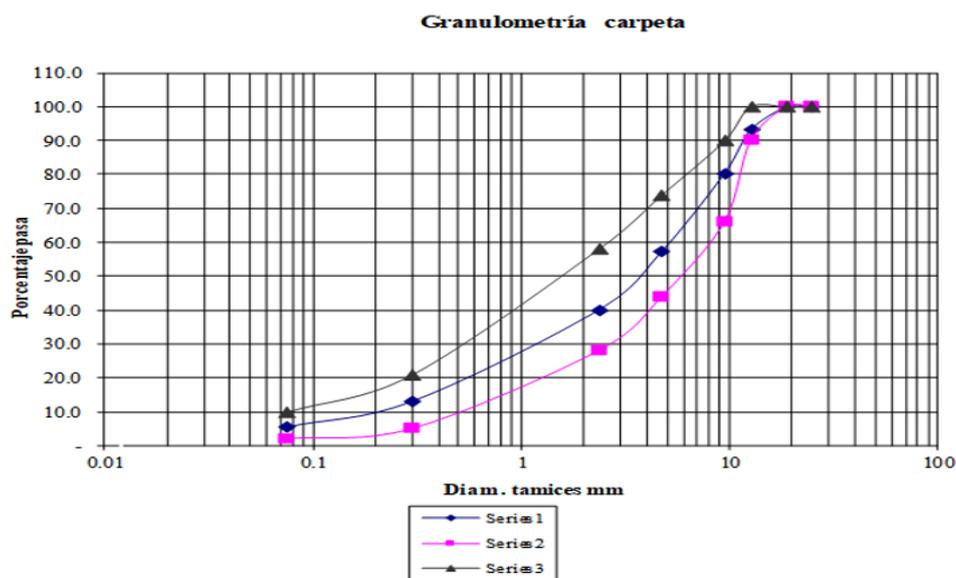


Gráfico 1 Ensayo de Granulometría de la muestra normal (Norma INEN 872)

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

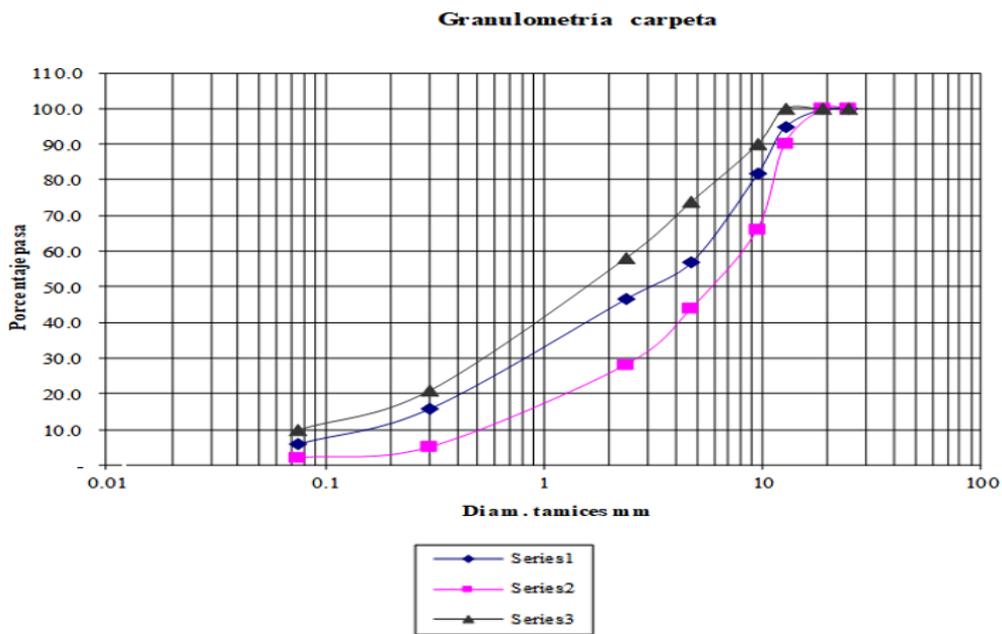


Gráfico 2 Ensayo de Granulometría de la muestra de toba volcánica (Norma INEN 872)
 Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 5 Hormigón Asfáltico, de la muestra normal (Muestra 3/4" y 3/8" y arena)

Peso Específico - Agregado Grueso		
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4	3/4"	3/8"
A-Peso en el aire de la muestra secada al horno	6000.0	6000.0
B-Peso en el aire de la muestra saturada sup. seca	6104.6	6123.0
C-Pesa en el agua de la muestra saturada	3800.0	3723.0
Peso específico aparente A/(B-C)	2.603	2.500
Peso específico de S.S.S. B/(B-C)	2.649	2.551
Peso específico nominal A/(A-C)	2.727	2.635
% de absorción (B-A)/A	1.743	2.050
Peso específico - Agregado fino		
	#1	
Material que pasa al tami #4 y es retenido en el integral	Arena	
A- Peso aire muestra seca	245.0	
B- Peso picnómetro aforado lleno de agua	348.1	
C- Peso picnómetro aforado con muestra y agua	493.7	
S- Peso picnómetro aforado con superficie seca	246.6	
Peso específico aparente	2.426	
Peso específico aparente (S.S.S)	2.442	
Peso específico nominal	2.465	
% Absorción	0.653	

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 6 Hormigón Asfáltico, de la muestra de toba volcánica (Muestra 3/4" y 3/8" y arena)

Peso Específico - Agregado Grueso		
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4	3/4"	3/8"
A -Peso en el aire de la muestra secada al horno	6000.0	6000.0
B -Peso en el aire de la muestra saturada sup. seca	6233.0	6252.0
C -Pesa en el agua de la muestra saturada	3012.0	3122.0
Peso específico aparente A/(B-C)	1.863	1.917
Peso específico de S.S.S. B/(B-C)	1.935	1.997
Peso específico nominal A/(A-C)	2.008	2.085
% de absorción (B-A)/A	3.883	4.200
Peso específico - Agregado fino		
	#1	
Material que pasa al tamiz #4 y es retenido en el integral	Arena	
A - Peso aire muestra seca	245.0	
B - Peso picnómetro aforado lleno de agua	348.1	
C - Peso picnómetro aforado con muestra y agua	493.7	
S - Peso picnómetro aforado con superficie seca	246.6	
Peso específico aparente	2.426	
Peso específico aparente (S.S.S)	2.442	
Peso específico nominal	2.465	
% Absorción	0.653	

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 7 Hormigón Asfáltico de la muestra normal (1 arena y 2 ripio y arena).

Peso Unitario Agregado Grueso 3/4"			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el #4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso del material (gm)	14200.6	14312.2	14263.1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1.450	1.461	1.456
Promedio	1456		
Peso Unitario Agregado Grueso 3/8"			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso del material (gm)	14543.5	14648.6	14849.1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1.485	1.495	1.516
Promedio	1499		
Peso Unitario Agregado Fino			
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)	5012.6	5007.8	4876.8
B Volumen del recipiente (cm3)	2968	2968	2968
Peso unitario A/B	1.689	1.687	1.643
Promedio	1.673		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 8 Hormigón Asfáltico de la muestra de toba volcánica (1 arena y 2 ripio y arena).

Peso Unitario Agregado Grueso 3/4"			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el #4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso del material (gm)	13238	13421	13397
B Volumen del recipiente (cm ³)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1.351	1.370	1.368
Promedio	1.363		
Peso Unitario Agregado Grueso 3/8"			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso del material (gm)	13522	13296	13418
B Volumen del recipiente (cm ³)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1.380	1.357	1.370
Promedio	1.369		
Peso Unitario Agregado Fino			
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)	5012.6	5007.8	4876.8
B Volumen del recipiente (cm ³)	2968	2968	2968
Peso unitario A/B	1.689	1.687	1.643
Promedio	1.673		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 9 Determinación Rice Gmm en la muestra normal.

Determinación Rice Gmm				
% Asfalto	5.5	6.0	6.5	7.0
D Peso frasco+ agua 25°C	7356.5	7446.5	7406.5	7406.5
Peso frasco	2903.2	2903.2	2903.2	2903.2
Peso muestra + frasco	4503.2	4503.2	4503.2	4503.2
A Peso muestra	1600	1600	1600	1600
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C	8286.2	8361.2	8315.2	8306.3
Gmm = A/A-(E-D)	2387	2335	2314	2285

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 10 Determinación Rice Gmm en la muestra de toba volcánica.

Determinación Rice Gmm				
% Asfalto	5.5	6.0	6.5	7.0
D Peso frasco+ agua 25°C	7356.5	7446.5	7406.5	7406.5
Peso frasco	2903.2	2903.2	2903.2	2903.2
Peso muestra + frasco	4503.2	4503.2	4503.2	4503.2
A Peso muestra	1600	1600	1600	1600
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C	8192.9	8271.8	8218.7	8207.6
Gmm = A/A-(E-D)	2.095	2.065	2.031	2.003

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

El diseño de mezcla asfáltica realizado, utilizando la toba volcánica como material grueso, como se indica en el tema de investigación y demostrado por los resultados obtenidos en cada ensayo efectuado, cumple con las Normas respectivas para ser utilizado o considerado en los diseños de asfalto, pero al analizar nos damos cuenta que el desgaste de este material es del 37% está dentro de los parámetros requeridos pero su estabilidad es menos de los 2000 y con el tiempo puede desgastarse y disminuir su durabilidad, por este motivo se realizó una combinación solo al material del cisco que es la piedra triturada que se le agrega a todo diseño en este diseño es del 30,5%, este porcentaje se sustituyó por el cisco del árido grueso tradicional para mejora su estabilidad ya que su desgaste está en el 25%. Los resultados de estos ensayos utilizando el cisco del árido grueso tradicional ofrece valores que garantiza, que el diseño asfáltico a exponer tiene un mejor comportamiento en sus resultados.

Tabla 11 Ensayo de Granulometría de la muestra de mezcla asfáltica y toba volcánica en un 30,5% (Norma INEN 872)

	3/4	3/8	Fino		
% cada tolva	16.7	30.5	52.87	100.00	
	%pasa #1	%pasa #2	%pasa 3	%pasa Total	% Especifico
TAMIZ					
1" (25,0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	-
3/4" (19.0 mm)	16.67	30.46	52.87	100.0	100
1/2" (12.7 mm)	11.65	30.23	52.87	94.8	90-100
3/8" (9.5 mm)	6.54	22.22	52.87	81.6	-
# 4 (4,75 mm)	0.33	7.65	49.39	57.4	44-74
# 8 (2,36 mm)	0.00	5.88	34.11	40.0	28-58
# 50 (0,30 mm)	0.00	0.15	12.85	13.0	5-21
# 200 (.075 mm)	0.00	0.00	5.43	5.4	2-10
Observación: Cumple especificación					

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

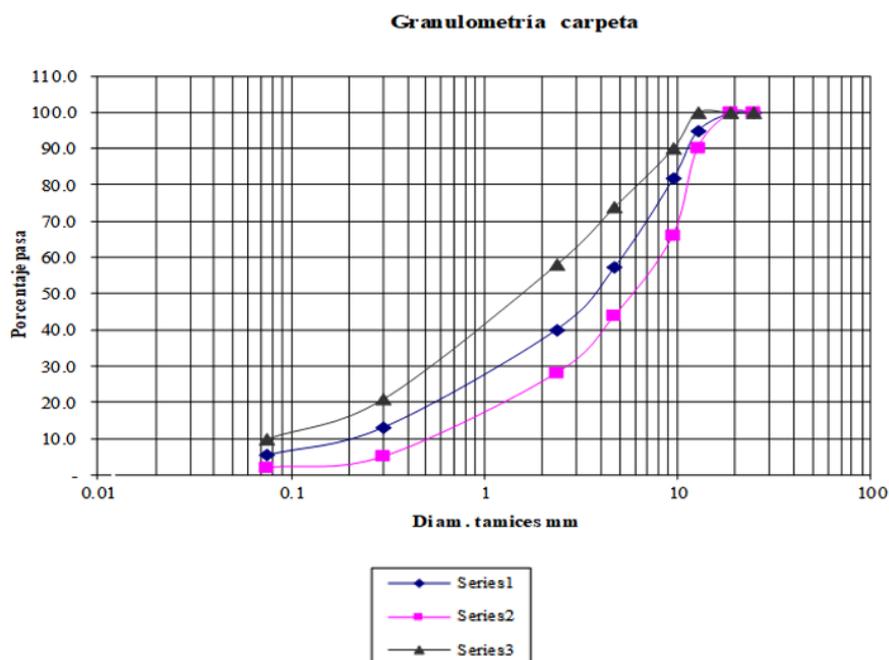


Gráfico 3 Ensayo de Granulometría de la muestra de mezcla asfáltica y toba volcánica en un 30,5% (Norma INEN 872)
Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 12 Hormigón Asfáltico, de la muestra de mezcla asfáltica y toba volcánica en un 30,5% (Muestra 3/4" y 3/8" y arena)

Peso Específico - Agregado Grueso		
Material que pasa el tamiz 2" y es retenido en el # 4	Toba volcánica	Ripio
A -Peso en el aire de la muestra secada al horno	6000.0	6000.0
B -Peso en el aire de la muestra saturada sup. seca	6233.0	6123.0
C -Pesa en el agua de la muestra saturada	3012.0	3723.0
Peso específico aparente A/(B-C)	1.863	2.500
Peso específico de S.S.S. B/(B-C)	1.935	2.551
Peso específico nominal A/(A-C)	2.008	2.635
% de absorción (B-A)/A	3.883	2.050
Peso específico - Agregado fino		
	#1	
Material que pasa al tami #4 y es retenido en el integral	Arena	
A - Peso aire muestra seca	245.0	
B - Peso picnómetro aforado lleno de agua	348.1	
C - Peso picnómetro aforado con muestra y agua	493.7	
S - Peso picnómetro aforado con superficie seca	246.6	
Peso específico aparente	2.426	
Peso específico aparente (S.S.S)	2.442	
Peso específico nominal	2.465	
% Absorción	0.653	

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 13 Hormigón Asfáltico de la mezcla asfáltica y toba volcánica en un 30,5% (1 arena y 2 ripio y arena).

Peso Unitario Agregado Grueso 3/4" Toba volcánica			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el #4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso del material (gm)	13238	13421	13397
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1.351	1.370	1.368
Promedio	1.363		
Peso Unitario Agregado Grueso 3/8"			
Material que pasa tamiz 2" y es retenido en el # 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso del material (gm)	14543.5	14648.6	14849.1
B Volumen del recipiente (cm3)	9796	9796	9796
Peso unitario A/B	1.485	1.495	1.495
Promedio	1.499		
Peso Unitario Agregado Fino			
Material que pasa el tamiz # 4 y es ret. en el integral	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A Peso en el aire de la muestra (gm)	5012.6	5007.8	4876.8
B Volumen del recipiente (cm3)	2968	2968	2968
Peso unitario A/B	1.689	1.687	1.643
Promedio	1.673		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 14 Determinación Rice Gmm en la muestra de mezcla asfáltica y toba volcánica en un 30,5%.

Determinación Rice Gmm				
% Asfalto	5.5	6.0	6.5	7.0
D Peso frasco+ agua 25°C	7356.5	7446.5	7406.5	7406.5
Peso frasco	2903.2	2903.2	2903.2	2903.2
Peso muestra + frasco	4503.2	4503.2	4503.2	4503.2
A Peso muestra	1600	1600	1600	1600
E Peso muestra +frasco + agua a 25°C	8242.8	8322.5	8271.7	8263.7
Gmm = A/A-(E-D)	2.242	2.210	2.177	2.154

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 15 Resumen de los diseños asfálticos analizados.

Diseño	% asfalto	Densidad bulk	% vacíos	Estabilidad	% Vacíos Agregados	Flujo
Tradicional	6.13	2.219	4.805	2377.0	15.9	10.43
Con toba volcánica como material grueso	6.30	1.990	2.669	1953.7	13.0	11.23
16.7% de cisto tradicional y 30.5% de pasante 3/4 de toba volcánica	6.15	2125	3.461	2232.2	14.4	10.59

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

En la tabla presentada por las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) en el capítulo 811 cuadro 405-5.2, adjuntada a continuación, se puede determinar su utilización dentro de la estructura del pavimento.

Tabla 16 Especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO)

Ensayos de acuerdo con el método Marshall	Tráfico					
	Pesado		Medio		Liviano	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Numero de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1.800		1.200		750	
Flujo (pulgada/100)	8	16	8	18	8	20
% Vacíos con aire						
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Nota: % de Vacíos en el agregado mineral (VMA) de acuerdo con el grafico actualizado del Instituto del Asfalto

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

Conclusión.

Se realizó el análisis de la mezcla asfáltica tradicional con la no tradicional con toba volcánica como agregado, realizando combinaciones en su agregado grueso obteniendo resultados satisfactorios en su

estabilidad y deformidad, la obtención de estos resultados de cada objetivo planteado lo indicamos a continuación.

Para la realización del primer objetivo específico como es el comportamiento de la toba volcánica como material grueso, lo que se

realizo es reemplazar el porcentaje de material grueso tradicional para el diseño asfáltico con la toba volcánica, los porcentajes son para el pasante del tamiz de 3/4 " es de 16,7% y para el cisco pasante del tamiz de 3/8" es de 30,5%, los ensayos respectivos dio un desgaste del 37%, tiene una absorción del 4% y su peso unitario es de 1.363 Kg/cm³ son datos muy conservadores pero está dentro de los parámetros recomendables en las especificaciones, se ara el diseño con este material y una combinación con el agregado tradicional para darle una mejor funcionalidad en su uso, que nos sirva de alternativa para los sitios que tengan estos yacimientos como es la toba volcánica.

Para el segundo objetivo específico como es la dosificación de la mezcla asfáltica para mejorar su resistencia y deformación, se realizó el diseño asfáltico tradicional con los mismos porcentajes del agregado grueso y fino se lo realizo reemplazando el material grueso con la toba volcánica, se la trituro por el 3/4" y para el cisco 3/8", dando resultados satisfactorio, pero por ser un material que tiene a desgastarse se la combino la parte del cisco con el tradicional para darle un mejor comportamiento al desgaste ya que toda estructura está expuesta a los agentes externos que tiende a deteriorar la estructura de la vía y con esta combinación poder mejorar su estabilidad y vacíos de la mezcla asfáltica.

Para la elaboración del tercer objetivo como es la correlación de la resistencia y deformación de la mezcla asfáltica con toba volcánica y la mezcla tradicional, los resultados obtenidos presentados en el cuadro de resumen podemos observar que cumple con las normas establecido por Ministerio de Transporte y Obras Públicas se lo puede utilizar para tráfico pesado, el porcentaje de asfalto óptimo de la tradicionales

en de 6,13 %, su estabilidad es de 2.377 lb. El porcentaje de vacíos es de 4,61 % y el flujo es de 10,43 %, el ensayo con toba volcánica dio un porcentaje de asfalto óptimo de 6,30 %, su estabilidad es de 1.954 lb. El porcentaje de vacíos es de 2,67 % y el flujo es de 11,23%, con estos resultados y de acuerdo con las normas requeridas cumple para utilizarlo como parte de la estructura de pavimento flexible, las normas nos indica que la estabilidad debe ser mayor a 1800 lb. El porcentaje de vicios entre 3 a 5 % y el flujo de 8 – 16 %.

Al utilizar la toba volcánica como parte del agregado grueso y cisco cumple con las especificaciones, pero por seguridad como vemos que el desgaste está casi al límite como es el 37% y el porcentaje de vacío es inferior al 3 %, por ese motivo utilizamos el cisco del tradicional y el grueso de la toba para darle una mejor estabilidad a este diseño los resultados obtenidos son, el porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla en de 6,15 %, su estabilidad es de 2.232 lb. El porcentaje de vacíos es de 3,46 % y el flujo es de 10,59, con estos resultados tenemos un diseño mejor estructurado y podemos recomendar su utilización que ayudaría principalmente a las comunidades que en sus alrededores cuente con estos yacimientos

La durabilidad de la muestra asfáltica puede ser mejorada en tres formas: usando mayor cantidad de asfalto, utilizando una graduación densa de los agregados resistente a la separación y realizar el diseño e ir compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad, hay que considerar que la estabilidad de la estructura del pavimento flexible depende de su desplazamiento y esto a su vez del tráfico.

Referencias Bibliográficas

Alamilla, D. &. (2021). Manual de pruebas de laboratorio: Bases estabilizadas con asfalto

- espumado. Instituto Mexicano del Transporte.
- Apas, A. R. (2017). Modelo de correlación entre parámetros Marshall y la Curva Maestra de mezclas asfálticas. La Plata, Argentina: LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg.
- Arévalo Prieto, L. A. (2021). Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con GCR y Nanoarcilla. Universidad Santo Tomas, Colombia.
- Barrera Rodríguez, A. C. (2015). Evaluación de mezcla asfáltica gruesa en caliente (MGC-0) cemento asfáltico 60-70 sometida a cambios de temperatura (Bachelor's thesis).
- Bin, H. P. (2021). Evaluación de escombreras de mármoles para su aprovechamiento como agregado en una estructura de pavimento, Córdoba, Argentina. Informes de la Construcción, 73 (561).
- Burgos Ascoy, M. (2019). Estudio comparativo de la resistencia de compresión y durabilidad del concreto usando agregado grueso de perfil redondeado y agregado grueso de perfil angular. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Castro Dorado, A. (2015). Petrografía de rocas ígneas y metamórficas. Ediciones Paraninfo, SA.
- Cifuentes, T. S. (2021). Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales. TecnoLógicas, 24(50), 5.
- Farfán Gonzales, J. &. (2021). Análisis de la influencia de las fibras de basalto y lignina en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente de pavimentos flexibles. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Garnica Anguas, P. D. (2005). Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas. Publicación Técnica, (272).
- Gómez, J. H. (2019). Informe de investigación IE-21/14: Degradación del módulo de rigidez en mezclas asfálticas utilizando el modelo de fatiga según la metodología Calme. Instituto Mexicano del Transporte.
- González Morgado, E. (2018). Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).
- Herrera Moreno, J. (2021). Análisis comparativo de los parámetros para la estabilidad y el flujo de una mezcla asfáltica MDC-25 con una mezcla asfáltica MDC-25 modificada con grano de caucho reciclado. Universidad Santo Tomas, Colombia.
- Infante, A. S. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. Ingeniería e investigación, 27(3), 5-15.
- Labrador, F. R. (2006). Historia de los pavimentos urbanos. Cimbra: Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, (371), 38-49.
- Mendonça, D. d. (2021). Estudo das propriedades químicas do ligante asfáltico cap 50/70 modificado por adição de lignina proveniente de pinus e eucalipto. Brazilian Journal of Development 7 (3).
- Meza, Z. &. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. Revista Arquitectura e Ingeniería, 13(3), 3.
- Montejo-Avila, J. &-B. (2021). Comparación de asfalto convencional frente a asfalto modificado con material orgánico y granulo de caucho. Universidad Católica de Colombia.
- Perez, M. D. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. Infraestructura Vial, 23(41), 11-19.
- Rojo, T. M. (Septiembre de 2020). eadic. Obtenido de Historia del uso de asfalto: <https://www.eadic.com/historia-del-uso-de-asfalto/>
- Romero-Segura, C. d.-C.-V. (2021). La toba volcánica como un nuevo diseño de hormigón para minimizar los impactos ambientales. Polo del Conocimiento, 6(2), 553-562.
- Sánchez Córdova, M. (2021). Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura. Universidad de Piura, Facultad de

Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

Vaz, M. (2019). Estudo da utilização de pavimentos drenantes com fins de captação de água pluvial para economia de água potável em universidades públicas.

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, Brasil.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright (c) Danny Damián Arciniegas Benítez y Efraín Leoncio Ríos Intriago

