

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

Este tipo de mezclas asfálticas al ser afectadas por la temperatura y a la vez sometidas a una presión de contacto tienden a provocar una deformación, para lo que se realizarán distintos tipos de ensayos, haciendo variar dos tipos de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con el agregado y asfalto aplicable en la región (Tarija-Cercado) la presión de contacto junto a una determinada temperatura que a su vez irá variando, dichos resultados de prueba serán analizados para determinar una relación entre temperatura, presión de contacto y mezcla asfáltica.

La deformación permanente puede presentarse en las diferentes capas que componen la estructura del pavimento, inclusive a nivel de la subrasante. Las causas que la originan son diversas. Es por ello que la elaboración de un proyecto de mezclas asfálticas debe ser integral y muy cuidadosa en cuanto a la calidad de los materiales seleccionados, el diseño de la mezcla asfáltica y el diseño estructural del pavimento.

En mezclas asfálticas, la temperatura y el constante paso de vehículos juegan un papel importante en la aparición de deformaciones superficiales, ahora analizando una carga estática como la de un vehículo de alto, mediano y bajo tonelaje estacionado bajo altas temperaturas ejerciendo una considerable presión de contacto en el pavimento provocaría de una u otra manera un leve asentamiento quizá no apreciable a la vista pero que al ser analizada a detalle es que desde ese momento empezaría la falla al no recuperar su estado normal, ya que el daño por más mínimo que sea habría empezado; es por esta duda que nace el interés por analizar cómo se comporta el pavimento y si es que no recupera a que temperatura y bajo qué presión de contacto comienza la deformación.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La deformación que se da en la superficie del pavimento flexible es un tema a tratar ya que es muy frecuente percibirlos en nuestra ciudad, una de muchas causas que la provocan viene a ser la presión vertical ejercida sobre el pavimento por lapsos de tiempo lo cual ocasiona que se deforme la capa de rodadura provocando cordones en los extremos del

hundimiento o también que aparezcan a partir de una combinación de una presión vertical considerable y temperaturas elevadas que calientan la superficie del pavimento a tal punto que se comporte como un líquido viscoso, en este caso se optará por analizar la segunda opción donde se calentará la superficie del pavimento a diferentes temperaturas y a la vez se aplicarán diferentes presiones de contacto simulando un vehículo de alto, mediano y bajo tonelaje en un día de elevadas temperaturas.

Como bien se sabe en Tarija se registran estos últimos años temperaturas máximas que van arriba de los 35°C los cuales provocan que la superficie del pavimento se caliente considerablemente y el flujo vehicular liviano o pesado provocarán ondas sobre esta, las cuales no son apreciables a simple vista si uno no las analiza detalladamente.

El control de vehículos estacionados de un determinado tonelaje sobre calles compuestas por pavimento flexible cuando se registre temperaturas elevadas podrían evitar una de las varias razones por las que comienza a aparecer deformaciones en la superficie, ahora la pregunta es a qué temperatura y bajo qué presión se da esta falla, para ello se deberán realizar distintas pruebas las cuales serán analizadas y detalladas conforme avance el proyecto.

1.3. ANTECEDENTES

A través del tiempo, se ha observado que el pavimento flexible es susceptible a una distinta tipología de daños por acción de la carga de tráfico y las condiciones en las que se encuentra, para ser concretos hay ensayos realizados que comprueban que la deformación superficial en mezclas asfálticas va muy relacionadas a factores de carga y temperatura, estudios realizados en varias partes del mundo.

Está demostrado que la durabilidad de los pavimentos asfálticos está influenciada directamente por el clima del lugar donde están ubicados. Además, se deben considerar otros parámetros como la magnitud y frecuencia de las cargas de tránsito, las propiedades de los materiales que lo conforman, las características de la subrasante, la humedad, el proceso constructivo, entre otros. Estos parámetros, en su conjunto, afectan sensiblemente el desempeño del pavimento y su potencial para desarrollar fallas por deformación.

Según el estudio de la universidad de Cartagena facultad de especialización en ingeniería de vías terrestres, dice que el fenómeno de la deformación en pavimentos flexibles es una

forma de que se presente el deterioro superficial de la capa de rodadura asociado con las condiciones de carga y climáticas (temperatura) a las que está sometido el pavimento en servicio. U.C.

La rueda de Hamburgo comprueba claramente que la temperatura juega un papel muy importante en la deformación de mezclas asfálticas cuando son sometidas a presiones, haciendo varios ensayos y aportando de esta manera al transporte internacional para el mejoramiento de las carreteras.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1. Situación problemática

En la práctica dentro del mantenimiento de las vías de comunicación, es fundamental el conocimiento de los problemas que pueden suscitarse por agentes externos, para que así, se pueda realizar una prevención adecuada y no exista un deterioro ascendente; sin embargo, es posible detectar oportunamente estos problemas.

Las fallas por deformación se presentan en cierta forma debido al constante paso de vehículos por una superficie de pavimento que puede que haya sido afectada en algún momento por una presión de contacto considerable.

De cierta forma cuando la superficie del pavimento se encuentra caliente y es sometida a una presión de contacto estática el daño puede considerarse mayor en comparación de una presión en movimiento aplicada en la misma superficie.

1.4.2. Problema

De qué manera influiría la aplicación de una carga estática sobre la superficie de una muestra asfáltica en caliente y expuesta a diferentes temperaturas de calentado antes del contacto, si se tiene muy en claro que al combinar simultáneamente estos factores en este tipo de muestras dan como resultado una posible deformación sobre la superficie.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Analizar la deformación provocada por carga estática en superficies de mezclas asfálticas en caliente, haciendo variar factores de temperatura.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los agregados pétreos provenientes de ERIKA y La Pintada.
- Establecer la caracterización del cemento asfáltico proveniente de la empresa ERIKA Stratura 85-100.
- Aplicar sobre la superficie de una briqueta confinada presiones estáticas que simulen la rueda de un vehículo liviano, semi-pesado y pesado a temperaturas que varíen desde los 30°C hasta los 60°C en intervalos de 5°C.
- Aplicar gráficas de deformación vs temperatura a una determinada presión, para así apreciar mejores resultados en las superficies.
- Aplicar gráficas de deformación vs presión estática a una determinada temperatura de calentado.
- Comparar precios unitarios para los dos tipos mezclas asfálticas convencionales.

1.5.3. Hipótesis

Si se determina una cierta temperatura y presión de contacto estática que provoque deformaciones sobre la superficie del pavimento de iguales características que las que se están estudiando en el presente proyecto, se podrá evitar a futuro este tipo de falla, evitando que vehículos de cierto tonelaje se estacionen por un determinado tiempo sobre estas superficies asfálticas en días de intenso calor.

1.5.4. Variables

1.5.4.1. Variable independiente

Presión estática de contacto.

Variación de la temperatura.

Tabla 1. 1 Variable independiente 1

Variable independiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Presión estática de contacto	Con la presión estática de contacto se pretende simular un vehículo de bajo, mediano y alto tonelaje sobre una porción de pavimento flexible.	Prensa hidráulica para simular la presión de contacto.	Se hace variar la presión de contacto en tres diferentes presiones.	Realizando la operación en el laboratorio de asfaltos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. 2 Variable independiente 2

Variable independiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Variación de la temperatura	Se realizara la variación de la temperatura en briquetas convencionales y confinadas en moldes desde los 30°C hasta los 60°C con variaciones de 5°C.	Hornos industriales graduales	Se alcanzara la temperatura deseada en hornos industriales graduales	Realizando la operación en el laboratorio de asfaltos

Fuente: Elaboración propia

1.5.4.2. Variable dependiente

Análisis de la deformación

Tabla 1. 3 Variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Análisis de la deformación	Un análisis visual y medible en la superficie de cada muestra.	Altura (h)	(mm)	Forma directa

Fuente: Elaboración propia

1.6. DISEÑO METODOLÓGICO

1.6.1. Componentes

Los componentes estarán sujetos por una unidad de estudio, población, muestra, muestreo y tamaño de la muestra.

1.6.1.1. Unidad de estudio

Capa de rodadura de un pavimento flexible afectado por presiones y temperaturas variables provocando una de varias razones de deformaciones.

1.6.1.2. Población

Ensayos de presiones estáticas aplicadas en muestras que simulen superficies de pavimentos flexibles variando la temperatura para el análisis de la deformación.

1.6.1.3. Muestra

Relación de presión y temperatura sobre una superficie asfáltica convencional para el estudio visual y analítico de la deformación.

1.6.1.4. Muestreo

Mezclas asfálticas convencionales compuestas por material pétreo de la alcaldía de Tarija y empresa ERIKA S.R.L. y cemento asfáltico proporcionado por la misma empresa

ERIKA S.R.L., donde para la variación de la temperatura se usó hornos industriales graduales propios del laboratorio de asfaltos, un termómetro superficial para la medición de la temperatura de la muestra fuera del horno y una prensa hidráulica de la universidad para variar la presión de contacto.

1.6.1.5. Tamaño de la muestra

Se realizará el análisis de la deformación en mezclas asfálticas convencionales aplicando diferentes presiones estáticas haciendo variar la temperatura en cada una para esto usaremos la técnica del muestreo estratificado donde:

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$
$$N = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2}$$
$$N = 237 \text{ ensayos}$$

Donde:

N= Población

z= Nivel de confianza

p= Probabilidad de que ocurra el suceso

q= Probabilidad de que no ocurra el suceso

e= Error probable

Calculando n para la muestra estratificada

$$n = \frac{\sum_{i=0}^i Ni * Pi * qi}{N * z + \frac{1}{N} * \sum_{i=0}^i Ni * Pi * qi}$$
$$n = 121 \text{ elementos}$$

Número de muestras para un nivel de confianza de 95% y un error del 5% este procedimiento será desarrollado con mayor claridad en la siguiente tabla (tabla 1.4).

Tabla 1. 4 Planilla de muestreo

Ensayos	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*pi*qi	wi	ni	Asumido
Granulometría de áridos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0,0253	3	3
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0084	1	1
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	4	0,5	0,5	0,25	1,0	0,0169	2	2
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0084	1	1
Peso unitario	4	0,5	0,5	0,25	1,0	0,0169	2	2
Equivalente de arena	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0084	1	1
Determinación de partículas chatas y alargadas	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0084	1	1
Caracterización del cemento asfáltico								
Penetración	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0127	1,5	2
Peso específico	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0127	1,5	2
Punto de ablandamiento	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0127	1,5	2
Ductilidad	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0127	1,5	2
Punto de inflamación	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,0127	1,5	2
Saybolt furol a 135°C	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0,0084	1	1
Propiedades mecánicas								
Estabilidad	36	0,5	0,5	0,25	9,0	0,152	18	18
Fluencia	36	0,5	0,5	0,25	9,0	0,152	18	18
Briquetas para el ensayo	42	0,5	0,5	0,25	10,5	0,177	21	21
Temperatura específica de las muestras	42	0,5	0,5	0,25	10,5	0,177	21	21
Presión de contacto	42	0,5	0,5	0,25	10,5	0,177	21	21
Total	237				59,3	1		121

Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Método y técnicas empleadas

1.6.2.1. Método inductivo

Al aplicar una presión de contacto sobre una superficie asfáltica existe la posibilidad de que se cree o no una deformación sobre la misma y más aún si está siendo afectada por un factor común como es la temperatura. El ensayo de la prueba de Hamburgo (ensayo para determinar una deformación con una carga móvil) determinó contundentemente que la temperatura sí es un factor a tomar en cuenta cuando hablamos de deformaciones ya que comprobaron mediante pruebas la aparición de esta falla al ir aumentando la temperatura y presiones de contacto en movimiento continuas, por lo tanto se determinará el grado de deformación que puede causar si la superficie de un pavimento es sujeta a presiones estáticas con respectivas variaciones de temperatura sobre la misma, tratando de analizar la falla de manera detallada y así poder realizar una comparación entre presión estática y temperatura.

1.6.2.2. Técnicas de investigación

Para el presente proyecto se emplearon las siguientes técnicas de investigación:

Material granular:

- Granulometría agregado grueso y fino.
- Peso específico agregado grueso y fino.
- Peso unitario agregado grueso y fino.
- Porcentaje de absorción agregado grueso y fino.
- Desgaste de los ángeles.
- Equivalente de arena.

Cemento asfáltico:

- Ensayo de penetración según norma ASTM D 5; AASHTO T 49-97.
- Ductilidad según norma ASTM D 113; AASHTO T 51-00.
- Punto de inflamación según norma ASTM D 1310-01; AASHTO T 79-96.
- Punto de ablandamiento según norma ASTM D 36; AASHTO T 53-96.
- Pérdida de masa por película delgada según norma ASTM D 175; AASHTO T 179.
- Peso específico según norma ASTM D 71; AASHTO T 229-97.

Viscosidad por Saybolt Furol a 135°C norma ASTM D 244.

Diseño de mezclas asfálticas:

Elaboración de dos distintos tipos de briquetas con mezclas asfálticas convencionales.

Método Marshall según norma ABC A0613.

Rotura de briquetas estabilidad y fluencia según norma ABC A0613.

Aplicación de presión de contacto y temperatura:

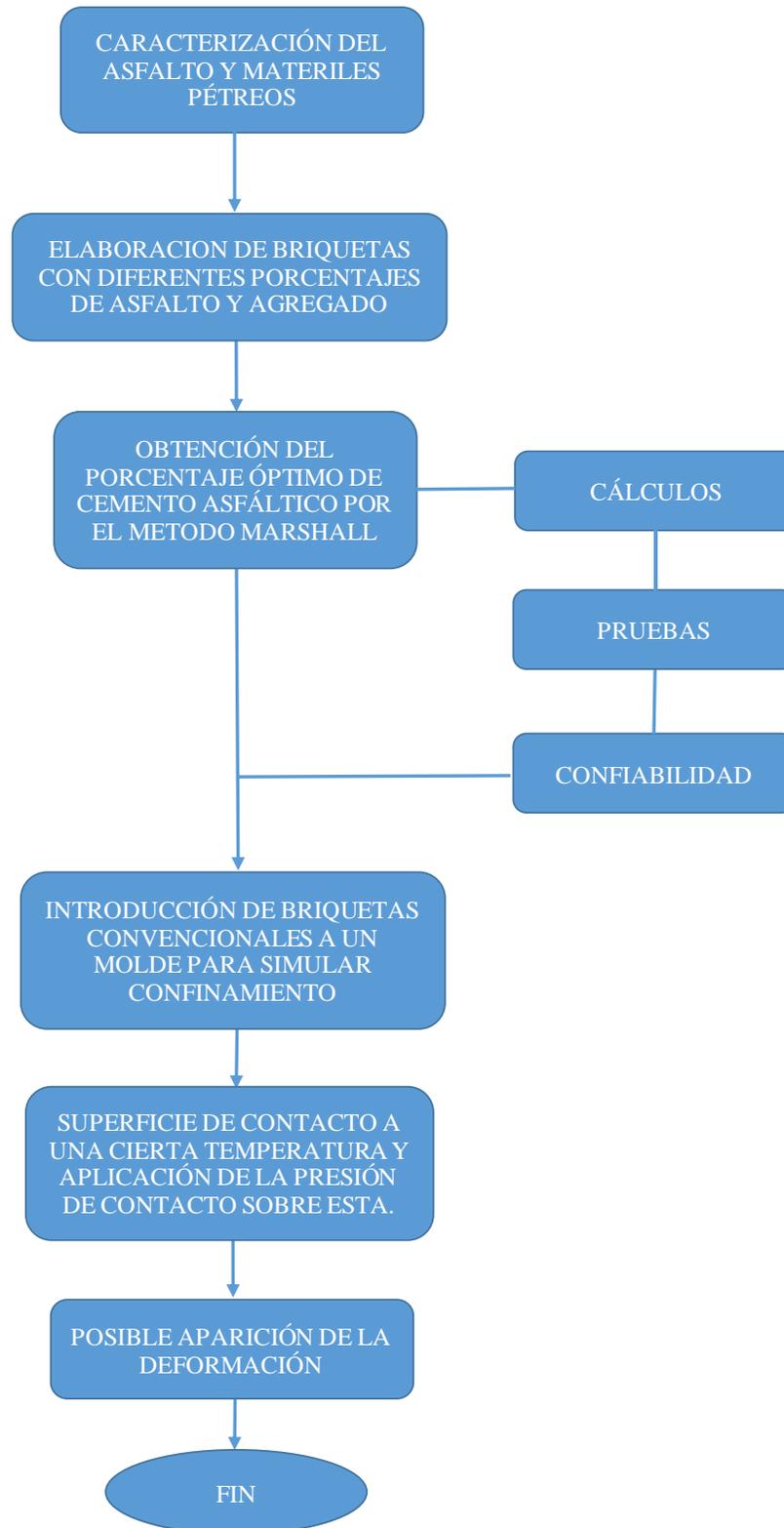
Prensa hidráulica, horno industrial gradual y termómetro superficial.

1.6.3. Procedimiento de aplicación

1.6.3.1. Flujograma

Un flujograma, también denominado diagrama de flujo, es una muestra visual de una línea de pasos de acciones que implican un proceso determinado, para este caso se realizará los pasos necesarios para el análisis que se pretende realizar de manera resumida representada por un flujograma expresada en la siguiente figura (fig. 1.1).

Fig. 1. 1 Flujograma



Fuente: Elaboración propia

1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El siguiente análisis se realizará en la ciudad de Tarija provincia Cercado, donde se usarán agregados áridos netamente de la región elaborando de esta manera mezclas asfálticas convencionales en caliente, con las mismas se pretende obtener cargas y temperaturas que provoquen ciertos grados de deformación en este tipo de mezclas.

Es de esta manera que con estas pruebas se logrará saber a qué temperatura y presión de contacto estática empiezan a generarse las deformaciones en pavimentos flexibles (elaborados y aplicados en la región) y a la vez tener un control vehicular por peso cuando un vehículo de tránsito urbano se encuentre estacionado ya sea de liviano semipesado o pesado tonelaje.

Se realizarán todos los ensayos y pruebas necesarias que sirvan como aporte a este análisis, los cuales estarán desarrollados paso a paso en los siguientes capítulos, cabe mencionar que todos estos ensayos y pruebas serán realizados con materiales y equipos propios de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. PAVIMENTO

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento, aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

2.1.1. Pavimento flexible

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de

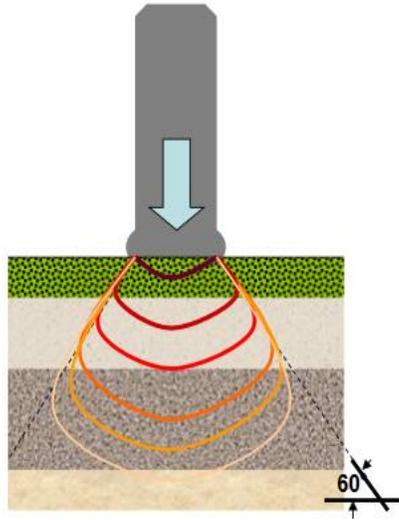
tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.

Funciones del pavimento flexible

Un pavimento de manera indistinta del tipo de rodadura que tenga debe cumplir con las siguientes funciones:

- Resistir las solicitaciones previstas de tráfico repartiendo las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la subrasante llegue una pequeña fracción.
- Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas de tráfico a lo largo de un periodo suficientemente largo de tiempo (vida útil o periodo de diseño). Esto no obstaculiza para que de manera más o menos continuada sean necesarias algunas actuaciones de conservación, además de una rehabilitación en las proximidades del final de su vida útil.
- Las deformaciones, tanto recuperables como remanentes, que se producen en las diferentes capas del pavimento deberán ser las admisibles.
- Ser resistente a los agentes del interperismo.
- Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito tal como se muestra en la figura (2.1).

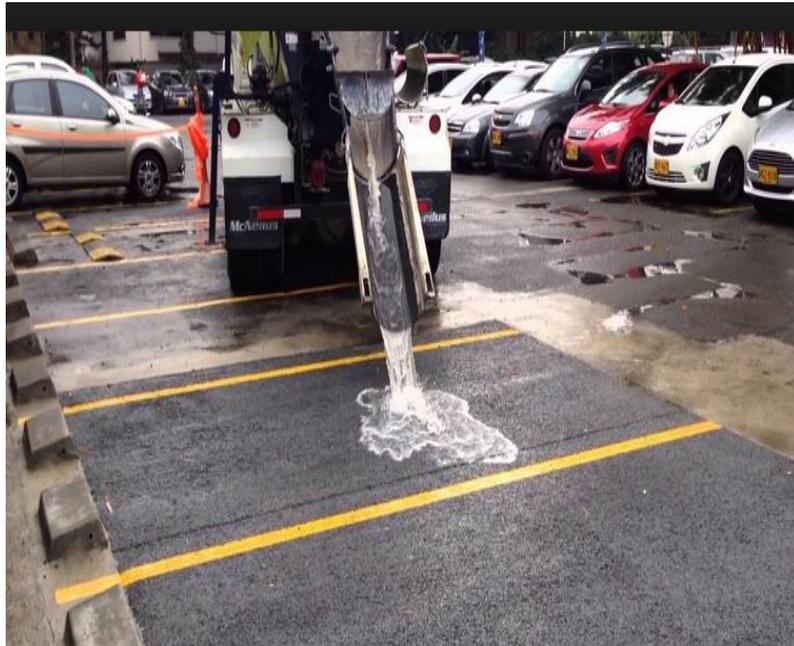
Fig. 2. 1 Distribución de cargas en el pavimento flexible



Fuente: Diseño y construcción de pavimentos Loma Negra

- Debe impedir el paso del agua al interior del pavimento Fig. (2.2)

Fig. 2. 2 Correcta evacuación del agua sobre la superficie del pavimento



Fuente: Diseño y construcción Loma Negra

- Tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo momento un tránsito fácil y cómodo de los vehículos. Fig. (2.3)

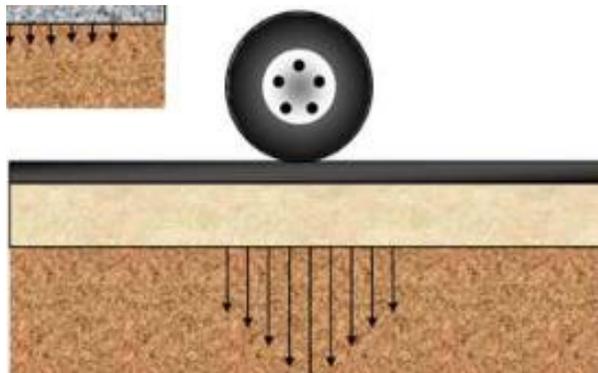
Fig. 2. 3 Superficie de rodamiento adecuada



Fuente: Construcción de carpetas asfálticas Padegua

- Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base, subbase, cabe aclarar que esta característica solo ocurrirá en los pavimentos flexibles. Fig. (2.4).

Fig. 2. 4 Flexibilidad del pavimento



Fuente: Construcción de carpetas asfálticas Padegua

Funciones de la capa de rodadura

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

2.1.2. Agregados pétreos

Son materiales granulares sólidos inertes o agregado mineral. En forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca.

Desde un punto de vista práctico, los agregados proceden de tres grandes grupos: Ígneas, Sedimentaria y metamórficos.

Fig. 2. 5 Tipos de rocas según su origen



Fuente: Elaboración propia

Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como en el caso de areniscas esquistosas), de residuos de productos animales (algunas calizas) de plantas (carbón) de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal. Yeso). Las rocas sedimentarias se encuentran dentro de las cortes terrestres en capas (estratos).

Rocas ígneas

Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Extrusivas: Son las que están formadas a partir del material que se ha vertido afuera sobre la superficie terrestre. Esta se enfría rápidamente al ser expuesta a la atmósfera y permite un endurecimiento de color vidrioso.

Intrusivas: Estas rocas son formadas a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza el magma se enfría lentamente permitiendo un endurecimiento de color cristalino.

Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por el proceso de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas.

2.1.2.1. Fuente de agregados pétreos

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

Agregados naturales

Los naturales son los que sencillamente se extraen de depósitos formados por procesos naturales como la erosión y degradación por la acción del viento, agua, movimiento del hielo y los químicos.

Los principales tipos de agregado natural usado en la construcción de pavimentos son las gravas y la arena. La grava se define usualmente como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35mm (1/4"). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35mm (1/4") pero mayor que 0.075mm (N°200) las partículas de un tamaño menor que 0.075mm (N°200) son conocidas como relleno mineral (filler) el cual consiste de limo y arcilla.

Los depósitos de grava varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen comúnmente

alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa (algunas de las cuales se encuentran tierra adentro hoy en día) están compuestas por partículas de tamaño regularmente uniforme. Mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además de acuerdo a su origen.

Materiales en bruto: Los materiales en bruto son los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional.

Materiales de cantera: Se llama materiales de cantera a los materiales tomados de la ribera de los ríos.

Fig. 2. 6 Agregados naturales



Fuente: Elaboración propia

Agregados de trituración

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas

La trituración a la cual están sometidos es con la finalidad de modificar las siguientes características: cambiar la textura superficial de la partícula de lisa a rugosa, cambiar la forma de la partícula de redonda a angular y para mejorar la distribución de los tamaños de las partículas los agregados procesados, han sido lavados, triturados o tratados para mejorar ciertas características de comportamiento de la mezcla asfáltica, por lo regular su explotación se da en canteras.

Fig. 2. 7 Agregado triturado



Fuente: Elaboración propia

2.1.2.2. Propiedades de los agregados pétreos

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente el agregado conforma el 90 a 95 % en peso de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Por esta razón deberá poseer ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para un pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

Graduación y tamaño máximo de la partícula

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. También es necesario saber el **tamaño máximo** del agregado debido a que las especificaciones exigen un tamaño máximo de la partícula para cada agregado.

Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla, partículas blandas, terrones de arcilla, etc.) las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente en el comportamiento de un pavimento.

La limpieza de los agregados puede determinarse, mediante una inspección visual, también otra forma de determinar es por un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable. El ensayo de equivalente de arena (AASHTO T-176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz 4075mm. (N°4).

Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) durante la producción, colocado y compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento los agregados que están cerca de la superficie deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en capas inferiores de la estructura del pavimento. Debido que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito.

Forma de partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento. Debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento se consigue con partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas por trituración.

Las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento.

Textura superficial

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una

textura áspera como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, a la vez provee una un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

No existe modo directo para evaluar la textura superficial. Esta es solo una característica como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

Capacidad de absorción

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros la cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto un agregado poroso requiere cantidades muchos mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso. Los agregados altamente porosos y absorbentes no son usados.

Peso específico

El peso específico de los agregados que se expresa también como densidad, conforme al sistema internacional de unidades es un indicador de calidad, en cuanto los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

2.1.3. Cementos asfálticos

Los cementos asfálticos son residuos de la destilación del petróleo y se caracterizan por permanecer en estado semisólido a temperatura ambiente.

Los cementos asfálticos mezclados con agregados forman concreto asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura.

El cemento asfáltico debe alcanzar altas temperaturas al igual que los agregados para hacer la mezcla asfáltica y de esta forma obtener una consistencia y calidad necesaria para su

uso en pavimentos asfálticos.

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación pluvial.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura permitiendo disminuir su espesor.

Fig. 2. 8 Cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

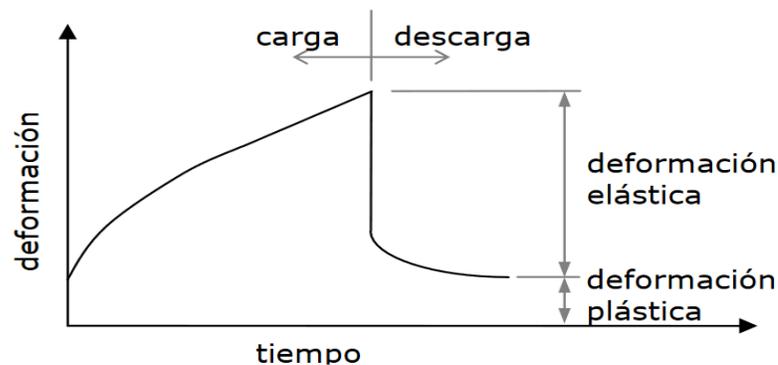
2.2. DEFORMACIÓN EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE

La estructura del pavimento al ser sometida a una determinada sollicitación, normalmente una carga ortogonal a su superficie, produce un estado de tensiones y deformaciones. Las deformaciones producen desplazamientos en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas del orden de centésimas o milésimas de milímetros.

La deformación es un tipo de defecto o falla que se produce en pavimentos asfálticos, que consiste en una depresión provocada por la circulación de los vehículos. Se produce en pavimentos asfálticos sometidos a una combinación de elevados niveles de tránsito, tráfico pesado y/o lento, y altas temperaturas de servicio.

La componente elástica de la deformación se recupera, mientras que la componente plástica se acumula. Este efecto se muestra en la Figura (2.9), que muestra el modelo reológico de un material viscoelástico desarrollado por Maxwell y las componentes de deformación ante un ciclo carga – descarga.

Fig. 2. 9 Modelo reológico del comportamiento de materiales viscoelásticos



Fuente: Análisis de casos de ahuellamientos en mezclas asfálticas

En condiciones normales de operación, las deformaciones producidas por el tránsito son despreciables, sin embargo, existen factores que tienden a aumentar la tasa de deformación de la mezcla asfáltica y eventualmente producen ahuellamiento. Estos factores, que normalmente actúan en conjunto, están relacionados al clima y al tráfico.

Las cargas pesadas aumentan la magnitud de las deformaciones y por lo tanto aumentan la tasa de deformación de la mezcla. Además, el tráfico lento disminuye la rigidez del asfalto, por lo que aumenta la componente plástica de deformaciones, es decir, se produce un efecto equivalente a un aumento de la temperatura de servicio.

2.2.1. Causas de la deformación

Altas temperaturas

Baja velocidad de circulación

Altas cargas de tránsito

Falta de calidad en la producción y construcción

Sobrecargas y falta de control en el uso de las vías de comunicación.

Vehículos estacionados por largos lapsos de tiempo en días de intenso calor

Fig. 2. 10 Consecuencias de la deformación

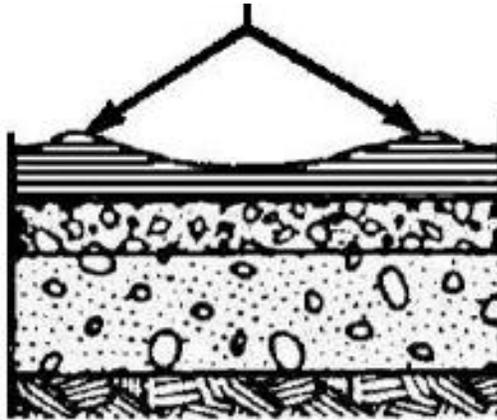


Fuente: Principales causas de la deformación congreso argentino

2.2.2. Consecuencias de la deformación en mezclas asfálticas

Las consecuencias de una deformación llegan cuando estas se acumulan por reiteradas veces provocando una deformación permanente o ahuellamiento, todo esto debido a los reiterados ciclos de carga que sufre la superficie asfáltica, estas se presentan con mayor frecuencia en veranos donde las temperaturas son elevadas y provoca que la mezcla se comporte de manera viscoelástico entonces en conjunto dan lugar a una deformación permanente desplazando la mezcla a ambos lados de la huella tal como se puede ver en la figura 2.11.

Fig. 2. 11 Desplazamiento de la mezcla asfáltica a ambos lados de la huella



Fuente: Elaboración propia

Fig. 2. 12 Capas del pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Las deformaciones permanentes se producen primero con un cambio de volumen debido a la compactación por el paso del tránsito; luego se producen deformaciones a volumen constante por flujo de la mezcla. Finalmente, se produce un tercer estado denominado tercer flujo en el cual la mezcla pierde la capacidad de tomar carga y se deforma rápidamente, este proceso está asociado con cambios de volumen en la mezcla asfáltica.

2.2.3. Influencia de la granulometría en la resistencia a la deformación en mezclas asfálticas

La mezcla asfáltica es el producto de unir asfalto con material granular bajo unos criterios y normas establecidas. Esta mezcla actúa como esqueleto que aporta resistencia y rigidez a la estructura de pavimento, cuyos valores dependen de las propiedades individuales de los materiales, las condiciones ambientales y de la carga que soporta la vía.

Los porcentajes de las partículas de material granular (granulometría) que conforman las mezclas asfálticas hacen que se incrementen o disminuyan sus propiedades mecánicas y dinámicas, de ahí la importancia de escoger una mezcla específica a la hora de diseñar,

construir o rehabilitar una vía. El empleo de curvas granulométricas diferentes en las capas asfálticas depende de la función de la capa y del nivel de esfuerzos que ésta debe soportar, es así, como se pueden enunciar las curvas granulométricas cerradas, abiertas y semiabiertas.

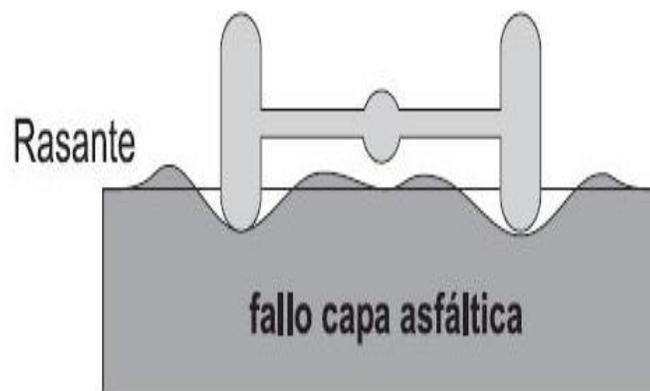
Las mezclas asfálticas pueden tener un comportamiento elástico lineal, no lineal o viscoso en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. A bajas temperaturas el comportamiento es fundamentalmente elástico lineal, y al aumentar la temperatura se va comportando como un material elástico no lineal, con lo cual aparece un comportamiento viscoso a medida que la temperatura continúa aumentando.

Es así como en épocas de invierno, al tener temperaturas bajas, no existen deformaciones plásticas y el comportamiento es elástico. A temperaturas intermedias y elevadas, la cohesión de la mezcla disminuye y las deformaciones generadas por el tráfico se incrementan, lo cual produce ahuellamiento en la mezcla debido a su componente viscosa.

De otra parte, el porcentaje de vacíos o huecos en la mezcla influye en la contribución del asfalto en las propiedades de la mezcla, lo que conlleva a que a menor contenido de vacíos, mayor es la influencia del mismo en el ahuellamiento y la resistencia.

Las deformaciones permanentes o ahuellamiento en la mezcla asfáltica se caracterizan por un desplazamiento lateral a lo largo de la trayectoria de los vehículos en el plano de la mezcla, lo cual crea una depresión en el área de carga por donde circula la llanta y una cresta en ambos lados de la depresión (figura 2.13).

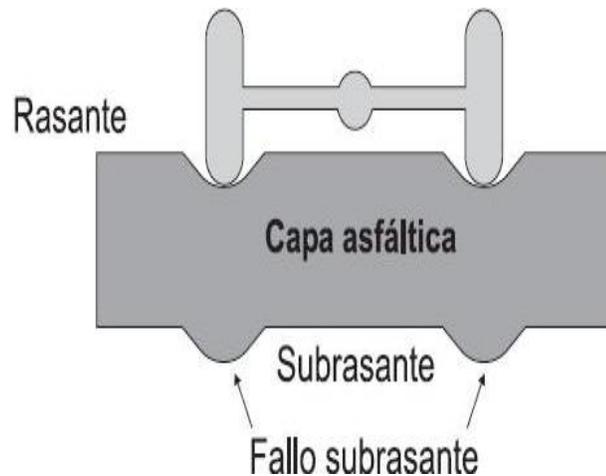
Fig. 2. 13 Deformación por fallo en la mezcla asfáltica



Fuente: Revista científica ingeniería y desarrollo, No 23 (2008)

La aparición de deformaciones permanentes es causada por la falta de resistencia de la mezcla ante la solicitud de las cargas. Otra deformación permanente es la causada por fallas en la subrasante, cuya aparición se debe a un exceso de esfuerzos en las capas inferiores. La forma característica de este ahuellamiento es un hundimiento por donde circulan las llantas de los vehículos, lo que genera una deformación en las capas inferiores y mantiene el espesor de la mezcla asfáltica, como aparece en la (figura 2.14).

Fig. 2. 14 Deformación por fallo en la subrasante



Fuente: Revista científica ingeniería y desarrollo, No 23 (2008)

2.2.4. Mezclas asfálticas en caliente y su relación con la deformación

Las mezclas asfálticas se emplean en capas de rodadura y en capas inferiores, con el objeto de brindar aporte estructural, transmitir adecuadamente las cargas y dar regularidad superficial. Se ven así dos funciones, por un lado, brindar aporte estructural y por otro mejorar las características superficiales tales como adherencia neumática calzada, mejor superficie de rodadura, comodidad de circulación y mejores propiedades ópticas. La formación de deformación en las mezclas asfálticas provoca deterioro estructural y superficial de la vía. El ahuellamiento es una deformación plástica permanente, provocado por un inadecuado diseño de la mezcla asfáltica, o fallas de la subrasante entre otras razones.

Los principales factores que hacen sensible a una mezcla a la deformación son:

Granulometría de los áridos.

Forma, tamaño y textura de los áridos.

Contenido de polvo mineral en la mezcla.

Tipo y cantidad de ligante asfáltico, modificación del asfalto.

Contenido de vacíos en el agregado mineral y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica.

Cargas por eje equivalente de los vehículos y presión de contacto de los neumáticos con el pavimento y frecuencia.

Las condiciones ambientales.

Temperatura de compactación.

2.2.5. Efectos del cemento asfáltico

La selección del cemento asfáltico debe hacerse principalmente en base al clima, sin embargo, también influyen factores de proyecto, como el nivel de tránsito y las velocidades de circulación. Es por esto que en la actualidad se considera que las especificaciones por penetración no son suficiente para garantizar un buen desempeño del asfalto.

2.2.6. Efectos del agregado

Las mezclas tradicionales se producen en base a granulometrías continuas o densas. Estas mezclas, en condiciones extremas de servicio, pueden ser susceptibles de ahuellarse. Recientes investigaciones indican que para que una mezcla sea resistente a la deformación, debe existir un contacto íntimo entre las partículas gruesas, más resistentes y de mayor fricción interna.

Cuando hay un exceso de arenas de tamaño medio, la mezcla puede ser inestable en condiciones extremas de servicio. Esto produce una deformación paulatina de la mezcla, y un reacomodo interno de las partículas, acercándose unas a otras. Cuando las partículas gruesas quedan en contacto, de modo que proveen suficiente fricción interna, la deformación se detiene.

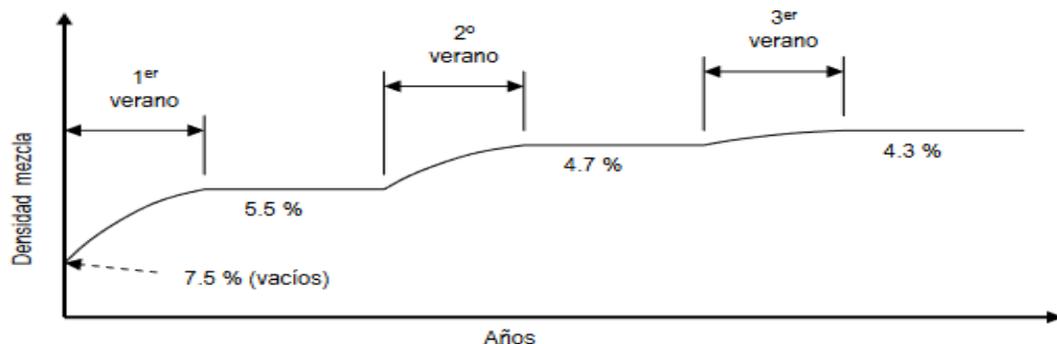
Tanto la forma como la textura son propiedades que tienen que ver con el origen del agregado. Las partículas rodadas obtenidas de depósitos fluviales normalmente tienen una

textura lisa y una forma redondeada, por lo que no son adecuadas para producir mezclas asfálticas, puesto que no proveen suficiente fricción interna para resistir las cargas. Las partículas que se obtienen en plantas de chancado tienen forma angulosa y textura rugosa, producto de la trituración mecánica. Estas partículas proveen grandes fricciones internas que las hacen adecuadas para producir mezclas asfálticas resistentes a la deformación .

2.3. PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LA MUESTRA

Numerosos informes de investigación, así como textos de estudio, concuerdan que el contenido de vacíos es, por sí solo, el parámetro de desempeño más importante de una mezcla asfáltica. Existe acuerdo en que el rango adecuado de desempeño de una mezcla se consigue para contenidos de vacíos de 3 a 8% (Brown, 1990; Asphalt Institute, 1997). Para contenidos de vacíos bajo 3%, la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores al 8 %, la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración. Para determinar el contenido asfáltico óptimo, el criterio de diseño del método Marshall especifica un contenido de vacíos de 3 a 5%. Estos valores se refieren a la condición de la mezcla tras dos a tres años de servicio, una vez que ha sido compactada por el tráfico, como se aprecia en la (Figura 2.15) (Foster, 1984). Por lo tanto, para alcanzar esta condición en terreno, es necesario compactar la mezcla hasta un nivel de vacíos cercano al 8%, ya que el tráfico densificará la mezcla hasta su nivel final, en el rango de 3 a 5%. Una sobre compactación de la mezcla, ya sea por error de diseño, exceso de compactación durante la colocación, o por un tráfico pesado no considerado durante el diseño, producirá una disminución en el contenido de vacíos que puede producir la deformación y/o la exudación de la mezcla.

Fig. 2. 15 Variación de la densidad y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica



Fuente: Análisis de casos de ahuellamiento en mezclas asfálticas (Foster, 1984)

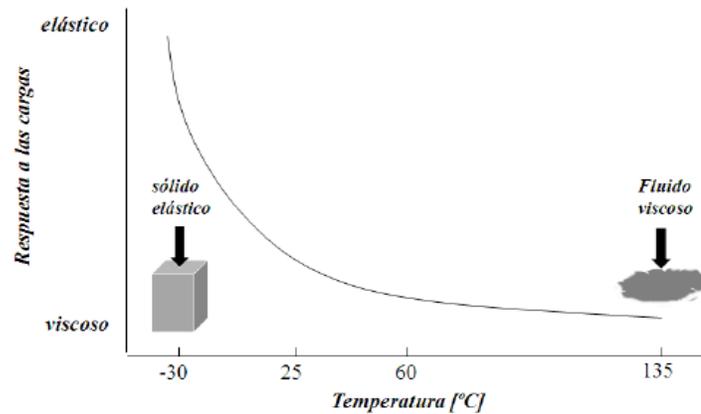
Otros parámetros volumétricos relacionados con a la deformación están relacionados al contenido de vacíos, son el VMA y contenido asfáltico. El VMA, o contenido de vacíos del agregado mineral, es una propiedad que depende del agregado (forma y granulometría) y del contenido asfáltico. Valores de VMA muy bajos pueden indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podría ahuellarse. Valores de VMA muy altos también se han asociado con el ahuellamiento, ya que se requerirá un mayor contenido asfáltico para cumplir las especificaciones de diseño.

Por otro lado, el contenido asfáltico está relacionado con el contenido de vacíos. La estabilidad Marshall, a pesar de no ser un parámetro relevante en el comportamiento de las mezclas frente al ahuellamiento, muestra cómo afecta el contenido asfáltico al comportamiento mecánico de las mezclas. Hasta cierto valor, la estabilidad aumenta con incrementos en el contenido asfáltico. A partir de dicho valor, la estabilidad de la mezcla disminuye con nuevos incrementos en el contenido asfáltico. Esto se debe al efecto lubricante que produce un exceso de asfalto, que reduce el contacto entre las partículas de agregado y por lo tanto disminuye la fricción interna de la mezcla.

2.4. ROL DEL ASFALTO ANTE CONDICIONES DE TEMPERATURA

El asfalto tiene una interesante propiedad con la variación de temperatura, su susceptibilidad térmica. A bajas temperaturas el ligante tiene el comportamiento de un sólido elástico mientras que a altas temperaturas el mismo es el de un fluido viscoso puro. En el medio se produce una transición entre los dos estados presentando un comportamiento visco-elástico, figura 2.16. Debido a esto es importante tener en cuenta las condiciones de temperatura a las que será expuesto el pavimento, a bajas temperaturas se tendrá una mezcla que puede sufrir fisuración y a altas temperaturas deformaciones.

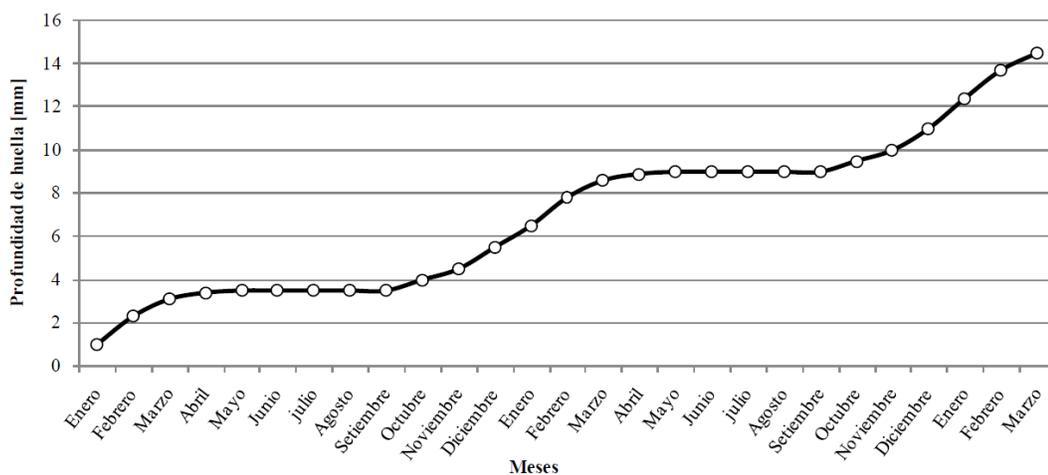
Fig. 2. 16 Cambio en el comportamiento del asfalto en función de la temperatura.



Fuente: Elaboración propia

A temperaturas de verano el asfalto se comporta más como un fluido viscoso que como un sólido elástico, por lo que aumenta la componente plástica de deformación del mismo y aumentan en consecuencia las deformaciones remanentes. Este comportamiento del ligante se traslada a la mezcla. Si la rigidez del ligante no es suficiente, no es capaz de sujetar las partículas de agregado en su sitio y éstas pueden moverse compactando el esqueleto hacia una configuración más densa, pudiendo ocurrir exudaciones y deformaciones excesivas en la superficie.

Fig. 2. 17 Acumulación de deformaciones permanentes en sucesivos veranos.



Fuente: Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga

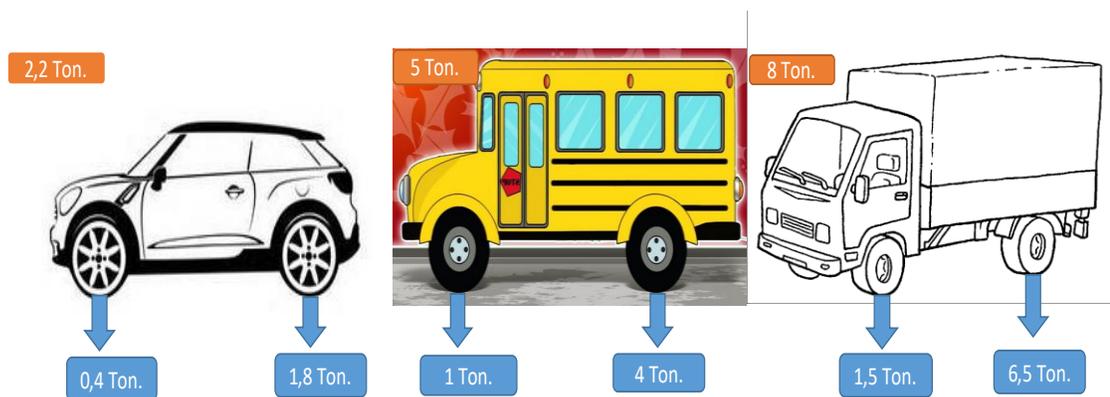
2.5. CARGAS DE TRÁNSITO Y SU INFLUENCIA EN LA DEFORMACIÓN

Las cargas pesadas tienen un papel preponderante en la deformación ya que aumentan la magnitud de las deformaciones y por lo tanto aumentan la tasa de deformación de la mezcla. Las cargas pesadas las producen los camiones, que se ve acrecentado si los mismos circulan a bajas velocidades. Este es otro factor que también aporta al problema del ahuellamiento. A bajas velocidades la respuesta del ligante asfáltico se da con una menor rigidez, producto de que tiene tiempo para relajar las tensiones, y así se aumenta la componente plástica e irrecuperable de las deformaciones. Éste es un efecto equivalente a un aumento de la temperatura de servicio.

El diseño de mezclas que resistan mayores cargas es un desafío. Bahía y coautores (2009) en su investigación estudiaron la sensibilidad de asfaltos y mezclas frente al incremento de tensiones bajo ciclos de carga repetidas. Ellos afirman que son necesarios imponer límites a las cargas máximas y que estos límites deben basarse en análisis de la sensibilidad de las mezclas a los incrementos en los niveles de tensión impuestas al pavimento.

Respecto a la distribución de carga por eje estará de acuerdo según a tipo de vehículo ya sea de liviano, mediano o de pesado tonelaje tal como de muestra en la figura 2.18 donde el 80% del peso total será distribuido a la parte trasera de cada vehículo respectivamente (valor redondeado).

Fig. 2. 18 Cargas por eje según el tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1. OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS Y EL CEMENTO ASFÁLTICO

Se realizó la obtención de los agregados pétreos específicamente de dos seleccionadoras diferentes, la primera se encuentra en Tomatitas antes de llegar al rancho más propiamente en la seleccionadora de la constructora ERIKA (fig. 3.1) y la segunda se encuentra en La Pintada carretera a Bermejo (fig. 3.2), dicha seleccionadora pertenece a la posta municipal, de ambas se solicitó una cierta cantidad de grava, gravilla y arena, material necesario para la elaboración de mezclas asfálticas.

El cemento asfáltico es de Stratura-Brasil 85-100 de igual manera que el primer agregado pétreo se obtuvo de la planta asfáltica de la empresa ERIKA ubicada alado de la seleccionadora de la misma constructora (fig. 3.1).

Obtención y selección del árido y cemento asfáltico

Básicamente el material a utilizar debe cumplir ciertas especificaciones que mencionamos anteriormente. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes. Además de tener una disponibilidad.

Fig. 3. 1 Ubicación satelital de la seleccionadora ERIKA



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 1 Coordenadas de la ubicación exacta de la seleccionadora ERIKA

Coordenadas Zona 20 K	
Geográficas	Latitud: 21°28'54,64"S Longitud: 64°45'27,96"O
U.T.M	Este: 317889,16 m E Norte: 7623500,65 m S

Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 2 Ubicación satelital de la seleccionadora de La Pintada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 2 Coordenadas de la seleccionadora de La Pintada

Coordenadas Zona 20 K	
Geográficas	Latitud: 21°36'13,83"S Longitud: 64°38'28,23"O
U.T.M	Este: 330113,00 m E Norte: 7610125,00 m S

Fuente: Elaboración propia

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

La caracterización de los agregados pétreos (grava, gravilla y arena) se realizó en el laboratorio de Tecnología del hormigón de la facultad de tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, solo el ensayo de equivalente de arena se realizó en el

laboratorio de asfaltos de la misma facultad, donde todos los ensayos fueron realizados con los materiales adecuados.

Descripción del tipo de material

Depósito aluvial, donde encontramos materiales como gravas y arenas; los fragmentos rocosos extraídos del río con excavadoras de oruga, luego pasan por un proceso de trituración para obtener los tamaños de agregados requeridos.

Toma de muestras de agregados pétreos

Se tomó muestra de material de agregado triturado 3/4", 3/8" y arena del stock de la planta asfáltica de ERIKA y la seleccionadora de La Pintada, la toma de muestra fue realizada por el método de cuarteo.

Número de ensayos

Se realizaron 22 ensayos en total para la caracterización de los agregados pétreos especificados en la siguiente tabla (3.3).

Tabla 3. 3 Número de ensayos de los agregados pétreos

Ensayos	Cantidad (Ni)
Granulometría de áridos	6
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	2
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	4
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	2
Peso unitario	4
Equivalente de arena	2
Determinación de partículas chatas y alargadas	2

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Análisis granulométrico – granulometría (agregado, grueso y fino)

Norma ensayo: ASTM C 136; AASHTO T27

Alcance: Este ensayo abarca la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices. Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Para este caso se realizará la granulometría para los agregados provenientes de la constructora ERIKA y la seleccionadora de La Pintada, tanto para agregado grueso y fino mediante los tamices correspondientes.

Fig. 3. 3 Tamizado de agregados finos y gruesos



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Granulometría

Tipo de agregado: Grava 3/4"

Proceso de cálculo para determinar el porcentaje que pasa cada tamiz:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret. Acum.}}{\text{Peso total seco}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{21,30}{5000} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 99,57\%$$

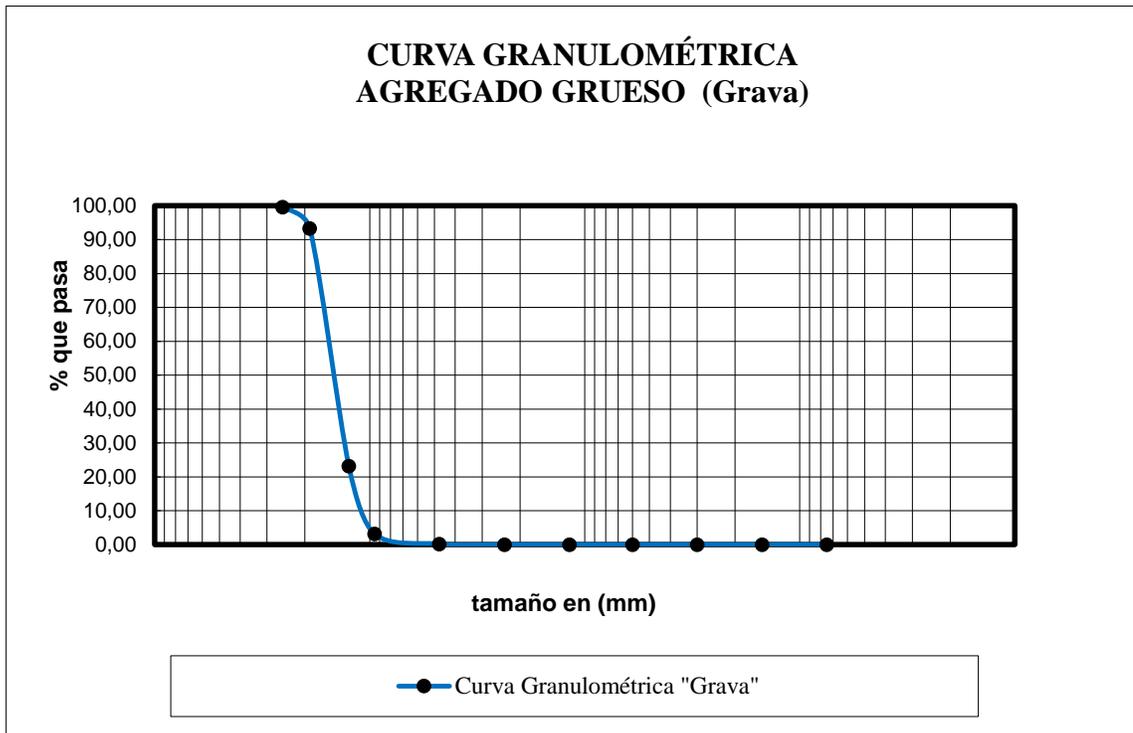
Este mismo procedimiento de cálculo se realizó para toda la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Granulometría agregado 3/4"

Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum (gr)	% Ret. %	% que pasa del total
1"	25,40	21,30	21,30	0,43	99,57
3/4"	19,00	311,50	332,80	6,66	93,34
1/2"	12,50	3509,70	3842,50	76,85	23,15
3/8"	9,50	998,20	4840,70	96,81	3,19
Nº4	4,75	149,70	4990,40	99,81	0,19
Nº8	2,36	9,60	5000,00	100,00	0,00
Nº16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
Nº200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
Base	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Gráfico N°:3. 1 Curva granulométrica agregado 3/4" constructora ERIKA



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Granulometría

Tipo de agregado: Gravilla 3/8"

Proceso de cálculo para determinar el porcentaje que pasa cada tamiz:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret. Acum.}}{\text{Peso total seco}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{265,70}{5000} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 94,69\%$$

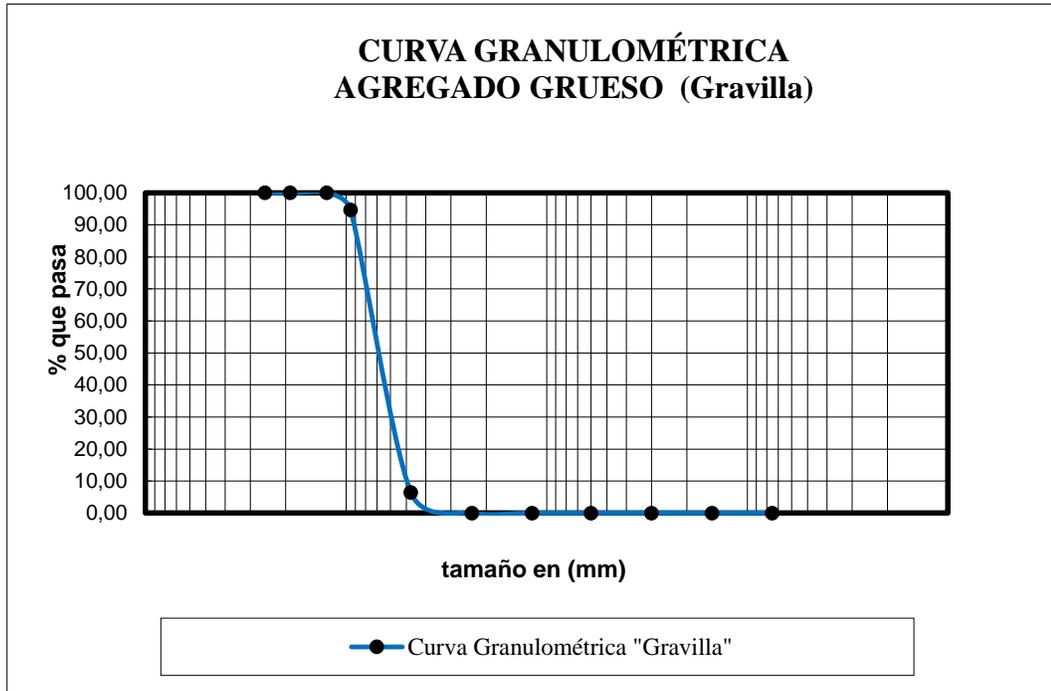
Este mismo procedimiento de cálculo se realizó para toda la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Granulometría agregado 3/8"

Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum (gr)	% Ret. %	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	265,70	265,70	5,31	94,69
Nº4	4,75	4411,40	4677,10	93,54	6,46
Nº8	2,36	322,50	5000	100	0
Nº16	1,18	0,00	5000	100	0
Nº30	0,60	0,00	5000	100	0
Nº50	0,30	0,00	5000	100	0
Nº100	0,15	0,00	5000	100	0
Nº200	0,075	0,00	5000	100	0
Base	-	0,00	5000	100	0

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Gráfico N°:3. 2 Curva granulométrica agregado 3/8" constructora ERIKA



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Granulometría

Tipo de agregado: Fino (arena)

Proceso de cálculo para determinar el porcentaje que pasa cada tamiz:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret. Acum.}}{\text{Peso total seco}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{46,40}{5000} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 95,36\%$$

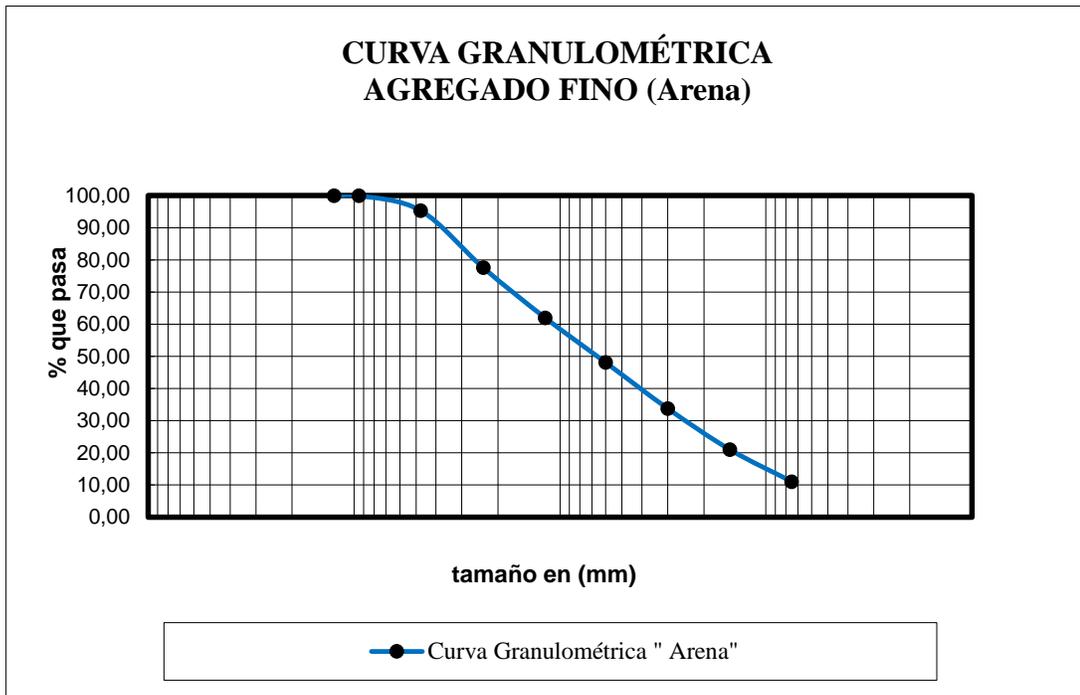
Este mismo procedimiento de cálculo se realizó para toda la tabla 3.6.

Tabla 3. 6 Granulometría agregado fino

Peso total (gr.)		1000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum (gr)	% Ret. %	% que pasa del total
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	46,40	46,40	4,64	95,36
Nº8	2,36	177,70	224,10	22,41	77,59
Nº16	1,18	156,10	380,20	38,02	61,98
Nº30	0,60	139,00	519,20	51,92	48,08
Nº50	0,30	143,00	662,20	66,22	33,78
Nº100	0,15	127,60	789,80	78,98	21,02
Nº200	0,075	99,70	889,50	88,95	11,05
Base	-	110,10	999,60	99,96	0,04

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Gráfico N°:3.3 Curva granulométrica agregado fino constructora ERIKA



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Granulometría

Tipo de agregado: Grava 3/4"

Proceso de cálculo para determinar el porcentaje que pasa cada tamiz:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret. Acum.}}{\text{Peso total seco}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{63,40}{5000} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 98,73\%$$

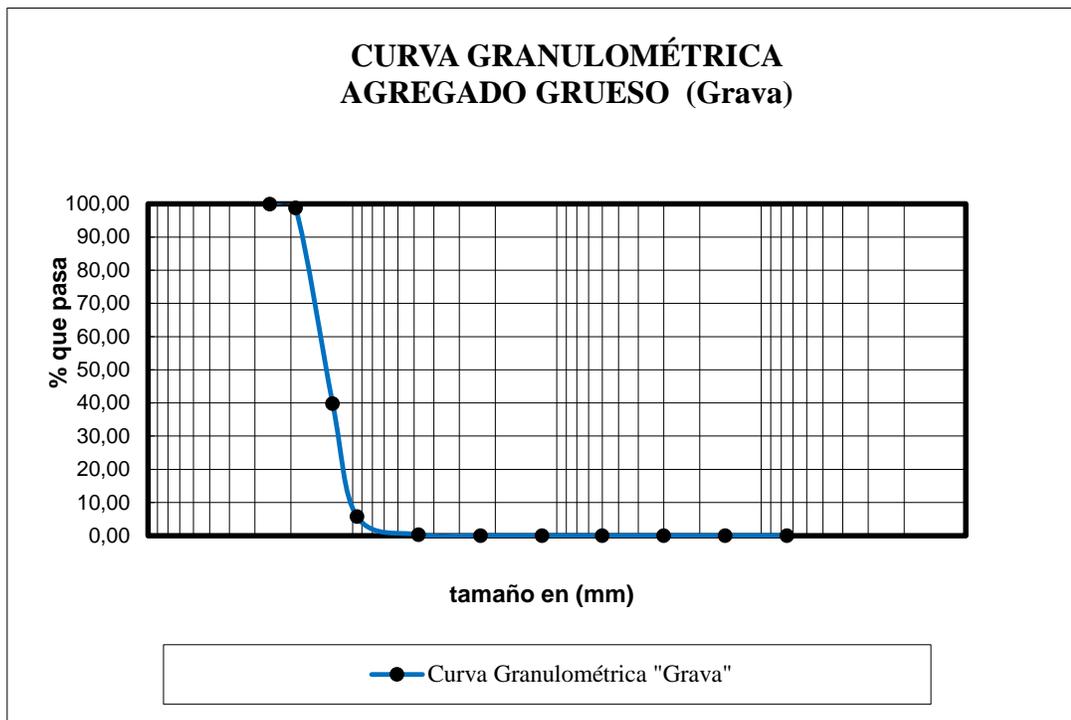
Este mismo procedimiento de cálculo se realizó para toda la tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Granulometría agregado 3/4"

Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum (gr)	% Ret. %	% que pasa del total
1"	25,40	3,50	3,50	0,07	99,93
3/4"	19,00	59,90	63,40	1,27	98,73
1/2"	12,50	2947,60	3011,00	60,22	39,78
3/8"	9,50	1701,00	4712,00	94,24	5,76
N°4	4,75	272,40	4984,40	99,69	0,31
N°8	2,36	15,60	5000,00	100,00	0,00
N°16	1,18	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°30	0,60	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°50	0,30	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°100	0,15	0,00	5000,00	100,00	0,00
N°200	0,075	0,00	5000,00	100,00	0,00
Base	-	0,00	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Gráfico N°:3. 4 Curva granulométrica agregado 3/4” La Pintada



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Granulometría

Tipo de agregado: Gravilla 3/8"

Proceso de cálculo para determinar el porcentaje que pasa cada tamiz:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret. Acum.}}{\text{Peso total seco}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{1528,20}{5000} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 69,44\%$$

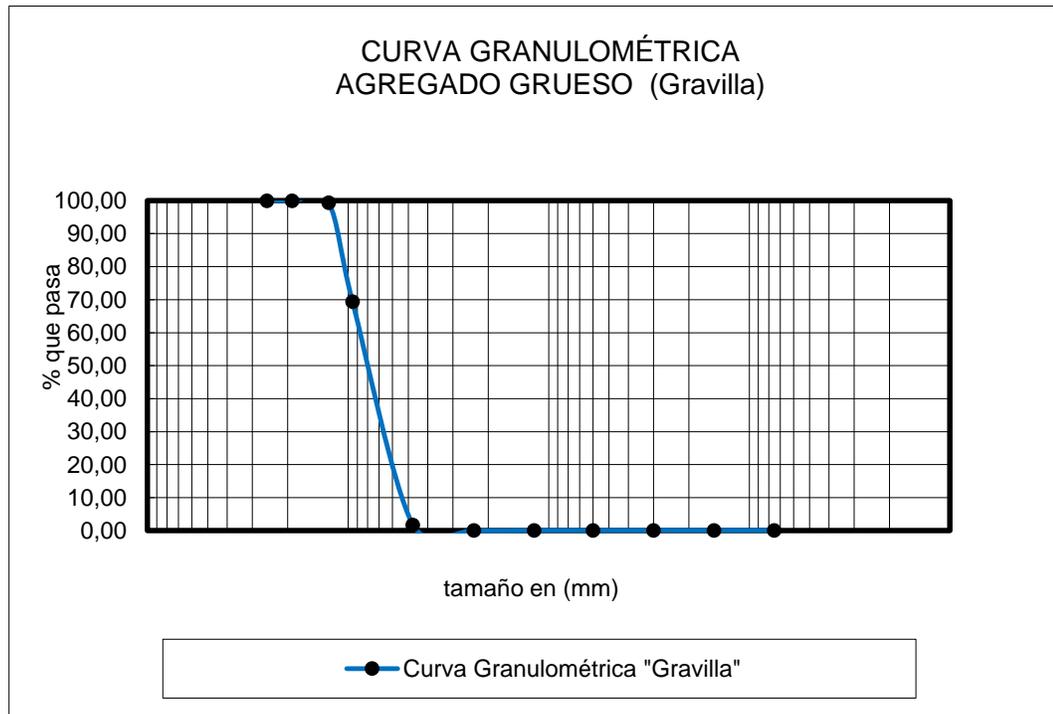
Este mismo procedimiento de cálculo se realizó para toda la tabla 3.8.

Tabla 3. 8 Granulometría agregado 3/8"

Peso total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum (gr)	% Ret. %	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	32,50	32,50	0,65	99,35
3/8"	9,50	1495,70	1528,20	30,56	69,44
Nº4	4,75	3385,50	4913,70	98,27	1,73
Nº8	2,36	82,80	4997	100	0
Nº16	1,18	0,00	4997	100	0
Nº30	0,60	0,00	4997	100	0
Nº50	0,30	0,00	4997	100	0
Nº100	0,15	0,00	4997	100	0
Nº200	0,075	0,00	4997	100	0
Base	-	0,00	4997	100	0

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Gráfico N°:3. 5 Curva granulométrica agregado 3/8” La Pintada



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Granulometría

Tipo de agregado: Fino (arena)

Proceso de cálculo para determinar el porcentaje que pasa cada tamiz:

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret. Acum.}}{\text{Peso total seco}} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \left(\frac{108,60}{5000} \right) * 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 89,14\%$$

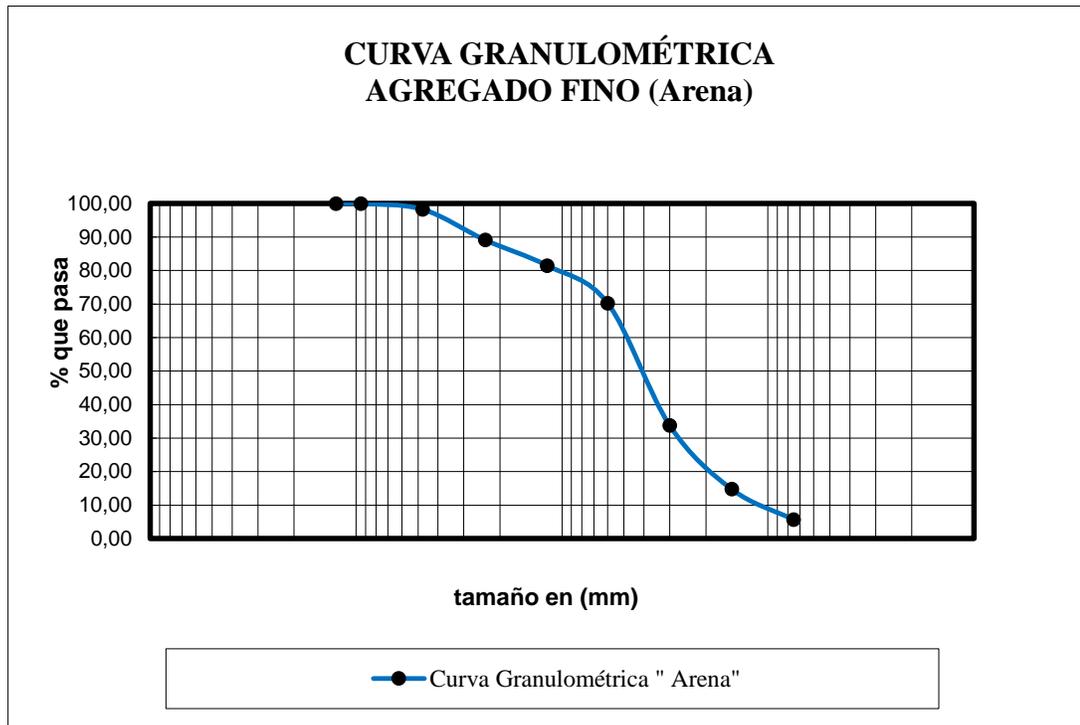
Este mismo procedimiento de cálculo se realizó para toda la tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Granulometría agregado fino

Peso total (gr.)		1000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum (gr)	% Ret. %	% que pasa del total
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	17,10	17,10	1,71	98,29
Nº8	2,36	91,50	108,60	10,86	89,14
Nº16	1,18	76,40	185,00	18,50	81,50
Nº30	0,60	112,40	297,40	29,74	70,26
Nº50	0,30	364,80	662,20	66,22	33,78
Nº100	0,15	190,00	852,20	85,22	14,78
Nº200	0,075	91,00	943,20	94,32	5,68
Base	-	56,20	999,40	99,94	0,06

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Gráfico N°:3. 6 Curva granulométrica agregado fino La Pintada



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso y fino

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso

Norma ensayo: ASTM C127; AASHTO T85

Alcance: Este ensayo se emplea para determinar la gravedad específica de la masa, la gravedad específica aparente, y la absorción (después de 24 horas en agua a temperatura ambiente) de los agregados pétreos gruesos.

Fig. 3. 4 Muestras del agregado saturándose por 24 horas.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 5 Pesaje del agregado grueso superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

Norma ensayo: ASTM C128; AASHTO T84

Alcance: Con este ensayo se obtiene la gravedad específica de la masa, gravedad específica aparente y la absorción (después de 24 horas en agua) de los agregados finos. La gravedad específica de la muestra de agregado es determinado al comparar, el peso del volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. La gravedad específica del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1).

Fig. 3. 6 Agregado fino saturándose por 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 7 Muestra fina superficialmente seca lista para pesar



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Peso específico y (%) de absorción.

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8" y arena

Proceso de cálculo para determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado grueso:

$$\text{Peso específico del agregado a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico del agregado a granel} = \frac{2945,70}{3000 - 1856}$$

$$\text{Peso específico del agregado a granel} = 2,57 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{3000}{3000 - 1856}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = 2,62 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{2945,70}{2945,70 - 1856}$$

$$\text{P. E. aparente} = 2,70 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{3000 - 2945,70}{2945,70} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,84 \%$$

Se realizó el mismo procedimiento para la obtención de los pesos específicos y porcentaje de absorción para la gravilla 3/8”.

Tabla 3. 10 Peso específico y (%) de absorción grava 3/4”

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso espec. a granel (gr/cm3)	Peso espec. saturada con sup. Secca (gr/cm3)	Peso espec. aparente (gr/cm3)	% absorción
1	2945,70	3000,00	1856,00	2,57	2,62	2,70	1,84
2	2953,10	3000,00	1855,00	2,58	2,62	2,69	1,59
3	2952,50	3000,00	1855,00	2,58	2,62	2,69	1,61
PROMEDIO				2,58	2,62	2,69	1,68

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 11 Peso específico y (%) de absorción gravilla 3/8”

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso espec. a granel (gr/cm3)	Peso espec. saturada con sup. Secca (gr/cm3)	Peso espec. aparente (gr/cm3)	% absorción
1	2942,40	3000,00	1854,00	2,57	2,62	2,70	1,96
2	2937,20	3000,00	1853,00	2,56	2,62	2,71	2,14
3	2935,50	3000,00	1851,00	2,55	2,61	2,71	2,20
PROMEDIO				2,56	2,61	2,71	2,10

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Proceso de cálculo para determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado fino:

W_{xma} = Peso de la muestra + matraz + agua

W_x = Peso de la muestra

Wm= Peso del matraz

$$\text{Peso del agua agregado al matraz (W)} = W_{xma} - W_x - W_m$$

$$\text{Peso del agua agregado al matraz (W)} = 965,6 - 500 - 195,5$$

$$\text{Peso del agua agregado al matraz (W)} = \mathbf{270,10 \text{ gr}}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{472,80}{500 - 270,1}$$

$$\mathbf{\text{Peso específico a granel} = 2,06 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{W_x}{V - W}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{500}{500 - 270,1}$$

$$\mathbf{\text{P. E. saturado con superficie seca} = 2,17 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{A}{(V - W) - (W_x - A)}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{472,80}{(500 - 270,1) - (500 - 472,8)}$$

$$\mathbf{\text{P. E. aparente} = 2,33 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{W_x - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - 472,8}{472,8} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 5,75 \%$$

Tabla 3. 12 Peso específico y (%) de absorción arena.

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Muestra matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "v" (ml)	P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con sup. Seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	500	195,5	965,6	270,10	472,80	500,00	2,06	2,17	2,33	5,75
2	500	171,7	964	292,30	471,70	500,00	2,27	2,41	2,63	6,00
3	500	221,1	1014,9	293,80	471,60	500,00	2,29	2,42	2,65	6,02
PROMEDIO							2,20	2,34	2,54	5,92

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Peso específico y (%) de absorción.

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8" y arena

Proceso de cálculo para determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado grueso:

$$\text{Peso específico del agregado a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico del agregado a granel} = \frac{2951,5}{3000 - 1860}$$

$$\text{Peso específico del agregado a granel} = 2,59 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{3000}{3000 - 1860}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = 2,63 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{2951,5}{2951,5 - 1860}$$

$$\text{P. E. aparente} = 2,70 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{3000 - 2951,5}{2951,5} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 1,64 \%$$

Se realizó el mismo procedimiento para la obtención de los pesos específicos y porcentaje de absorción para la gravilla 3/8”.

Tabla 3. 13 Peso específico y (%) de absorción grava 3/4”

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso espec. a granel (gr/cm3)	Peso espec. saturada con sup. Secca (gr/cm3)	Peso espec. aparente (gr/cm3)	% absorción
1	2955,90	3000,00	1860,00	2,59	2,63	2,70	1,49
2	2951,50	3000,00	1860,00	2,59	2,63	2,70	1,64
3	2956,00	3000,00	1861,00	2,60	2,63	2,70	1,49
PROMEDIO				2,59	2,63	2,70	1,54

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 14 Peso específico y (%) de absorción gravilla 3/8”

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso espec. a granel (gr/cm3)	Peso espec. saturada con sup. Secca (gr/cm3)	Peso espec. aparente (gr/cm3)	% absorción
1	2939,70	3000,00	1850,00	2,56	2,61	2,70	2,05
2	2936,10	3000,00	1849,00	2,55	2,61	2,70	2,18
3	2931,30	3000,00	1848,00	2,54	2,60	2,71	2,34
PROMEDIO				2,55	2,61	2,70	2,19

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Proceso de cálculo para determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado fino:

W_{xma} = Peso de la muestra + matraz + agua

W_x = Peso de la muestra

Wm= Peso del matraz

$$\text{Peso del agua agregado al matraz (W)} = W_{xma} - W_x - W_m$$

$$\text{Peso del agua agregado al matraz (W)} = 974,1 - 500 - 195,5$$

$$\text{Peso del agua agregado al matraz (W)} = \mathbf{278,60 \text{ gr}}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{488,90}{500 - 278,6}$$

$$\mathbf{\text{Peso específico a granel} = 2,21 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{W_x}{V - W}$$

$$\text{P. E. saturado con superficie seca} = \frac{500}{500 - 278,6}$$

$$\mathbf{\text{P. E. saturado con superficie seca} = 2,26 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{A}{(V - W) - (W_x - A)}$$

$$\text{P. E. aparente} = \frac{488,9}{(500 - 278,6) - (500 - 488,9)}$$

$$\mathbf{\text{P. E. aparente} = 2,32 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{W_x - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - 488,9}{488,9} * 100$$

$$\% \text{ de absorción} = 2,27 \%$$

Tabla 3. 15 Peso específico y (%) de absorción arena.

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Muestra matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "v" (ml)	P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con sup. Seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	500	195,5	974,1	278,60	488,90	500,00	2,21	2,26	2,32	2,27
2	500	171,7	969,3	297,60	490,70	500,00	2,42	2,47	2,54	1,90
3	500	221,1	1016,6	295,50	489,60	500,00	2,39	2,44	2,52	2,12
PROMEDIO							2,34	2,39	2,46	2,10

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

3.2.3. Peso unitario

Norma ensayo: AASHTO T 29; ASTM C 29M

Alcance: Determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados pertenecientes a la constructora ERIKA y la seleccionadora de la posta municipal ubicada en La Pintada.

Peso unitario suelto (PUS)

Se denomina PUS cuando para determinarla se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras una carilla. El concepto PUS es importante cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto.

Peso unitario compactado (PUC)

Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria. El PUC es importante desde el punto de vista diseño de mezclas ya que con él se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación de agregado.

Fig. 3. 8 Muestra suelta en el molde lista para ser pesada



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 9 Agregado grueso compactado en el molde listo para ser pesado



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 10 Peso del agua a cierta temperatura para calcular el volumen del molde



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 11 Peso del agregado fino compactado más el molde



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Peso unitario

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8" y arena

Proceso de cálculo para determinar el peso unitario de la grava y gravilla y arena tanto del peso unitario suelto y compactado:

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{13930}{9833,40}$$

$$\text{Peso unitario} = 1,417 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 3. 16 Peso unitario suelto de la grava 3/4", constructora ERIKA

Mostr N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	19730,00	13930,00	1,417
2	5800,00	9833,40	19705,00	13905,00	1,414
3	5800,00	9833,40	19805,00	14005,00	1,424
PROMEDIO					1,418

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 17 Peso unitario compactado de la grava 3/4”, constructora ERIKA

Mustra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	21330,00	15530,00	1,579
2	5800,00	9833,40	21095,00	15295,00	1,555
3	5800,00	9833,40	21360,00	15560,00	1,582
PROMEDIO					1,572

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 18 Peso unitario suelto de la gravilla 3/8”, constructora ERIKA

Mustra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	19635,00	13835,00	1,407
2	5800,00	9833,40	19930,00	14130,00	1,437
3	5800,00	9833,40	19730,00	13930,00	1,417
PROMEDIO					1,420

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 19 Peso unitario compactado de la gravilla 3/8”, constructora ERIKA

Mustra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	21165,00	15365,00	1,563
2	5800,00	9833,40	21335,00	15535,00	1,580
3	5800,00	9833,40	21240,00	15440,00	1,570
PROMEDIO					1,571

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 20 Peso unitario suelto del agregado fino, constructora ERIKA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	2610,00	2997,13	7590,00	4980,00	1,662
2	2610,00	2997,13	7700,00	5090,00	1,698
3	2610,00	2997,13	7585,00	4975,00	1,660
PROMEDIO					1,673

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 21 Peso unitario compactado del agregado fino, constructora ERIKA

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	2610,00	2997,13	7960,00	5350,00	1,785
2	2610,00	2997,13	8275,00	5665,00	1,890
3	2610,00	2997,13	8060,00	5450,00	1,818
PROMEDIO					1,831

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Peso unitario

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8" y arena

Proceso de cálculo para determinar el peso unitario de la grava y gravilla y arena tanto del peso unitario suelto y compactado:

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{13080}{9833,40}$$

$$\text{Peso unitario} = 1,330 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 3. 22 Peso unitario suelto de la grava 3/4" La Pintada

Mustra Nº	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	18880,00	13080,00	1,330
2	5800,00	9833,40	19040,00	13240,00	1,346
3	5800,00	9833,40	18980,00	13180,00	1,340
PROMEDIO					1,339

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 23 Peso unitario compactado de la grava 3/4” La Pintada

Mustra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	20315,00	14515,00	1,476
2	5800,00	9833,40	20505,00	14705,00	1,495
3	5800,00	9833,40	20285,00	14485,00	1,473
PROMEDIO					1,482

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 24 Peso unitario suelto de la gravilla 3/8” La Pintada

Mustra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	19260,00	13460,00	1,369
2	5800,00	9833,40	19140,00	13340,00	1,357
3	5800,00	9833,40	19145,00	13345,00	1,357
PROMEDIO					1,361

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 25 Peso unitario compactado de la gravilla (3/8)” La Pintada

Mustra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	5800,00	9833,40	20310,00	14510,00	1,476
2	5800,00	9833,40	20355,00	14555,00	1,480
3	5800,00	9833,40	20520,00	14720,00	1,497
PROMEDIO					1,484

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 26 Peso unitario suelto del agregado fino La Pintada

Mostra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2610,00	2997,13	6750,00	4140,00	1,381
2	2610,00	2997,13	6800,00	4190,00	1,398
3	2610,00	2997,13	6805,00	4195,00	1,400
PROMEDIO					1,393

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

Tabla 3. 27 Peso unitario compactado del agregado fino, La Pintada

Mostra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	2610,00	2997,13	7460,00	4850,00	1,618
2	2610,00	2997,13	7500,00	4890,00	1,632
3	2610,00	2997,13	7485,00	4875,00	1,627
PROMEDIO					1,625

Fuente: Datos en base a ensayos realizados

3.2.4. Desgaste de los ángeles o abrasión

Norma del ensayo: AASHTO; ASTM C-131

Alcance: Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de los Ángeles. La máquina que se usa en la prueba de los Ángeles consta de un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos y montado en ejes en posición horizontal. La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33rpm; el número total de vueltas deberá ser 500.

La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz N°12.

El material retenido en el tamiz se lava, se seca hasta alcanzar una masa constante y se pesa. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra expresada como un porcentaje de la masa original. El método T-96 de AASHTO; ASTM C-131 da un procedimiento detallado para esta prueba.

El tipo de abrasión que se efectuó es de tipo B para la grava mientras que para la gravilla se realizó del tipo C, donde se realizó un solo ensayo para cada uno.

Fig. 3. 12 Material granular vertido a la máquina de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 13 Tamizado del material granular por el tamiz N°12



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 28 Tabla de requerimiento según el tamaño de material que se tenga

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1	1"	1250±25			
1/2"	3/4"	1250±25			
1"	1/2"	1250±10	2500±10		
3/4"	3/8"	1250±10	2500±10		
1/2"	1/4"			2500±10	
3/8"	N°4			2500±10	
1/4"	N°8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Desgaste de los ángeles

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8"

Proceso de cálculo para determinar el desgaste provocado en los agregados por la máquina, los mismos serán de gradación B para las gravas y C para las gravillas.

Tabla 3. 29 Datos para el desgaste de la grava

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Desgaste} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = \frac{5000 - 4084,6}{5000} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 18,31\%$$

Tabla 3. 30 Resultados de la prueba (grava)

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000	4084,6	18,31	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 31 Datos para el desgaste de la gravilla

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
1/2"	1/4"	2500
3/8"	N°4	2500

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Desgaste} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = \frac{5000 - 4213,2}{5000} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 15,74\%$$

Tabla 3. 32 Resultados de la prueba (gravilla)

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	4213,2	15,74	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Desgaste de los ángeles

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8"

Proceso de cálculo para determinar el desgaste provocado en los agregados por la máquina, los mismos serán de gradación B para las gravas y C para las gravillas.

Tabla 3. 33 Datos para el desgaste de la grava

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Desgaste} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = \frac{5000 - 4012,8}{5000} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 19,74\%$$

Tabla 3. 34 Resultados de la prueba (grava)

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000	4012,8	19,74	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 35 Datos para el desgaste de la gravilla

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
1/2"	1/4"	2500
3/8"	N°4	2500

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{Desgaste} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = \frac{5000 - 3511,1}{5000} * 100$$

$$\% \text{Desgaste} = 29,78\%$$

Tabla 3. 36 Resultados de la prueba (gravilla)

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3511,1	29,78	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Índice de lajas

Norma del ensayo: ASTM D-4791

Alcance: Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se va a utilizar. Se define como índice de aplanamiento de una fracción del agregado, al porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción. También se define como índice de alargamiento de una fracción del agregado, al porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.

Este método no es aplicable para fracciones de agregado inferior a 1/4" (6,3mm).

Para separar el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.

La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente se pesa (P_i).

Para separar el material de forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.

La cantidad total de las partículas de cada fracción retenida entre dos barras correspondientes se pesa (P_{ai}).

Fig. 3. 14 Tipo de tamiz para determinar el índice de lajas



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 15 Tamizado del material granular



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Índice de lajas

Tipo de agregado: grava 3/4”, gravilla 3/8”

Proceso de cálculo para determinar el índice de lajas:

$$\% \text{ Lajas} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Lajas} = \frac{156,4}{2017,7} * 100$$

$$\% \text{ Lajas} = 7,75\%$$

Tabla 3. 37 Datos para el cálculo índice de lajas

Wgrava+fuelle(1) (gr)=	2469,1
Wgravilla+fuelle(2) (gr)=	1062,7
Wfuelle(1) (gr)=	451,4
Wfuelle(2) (gr)=	317
Wgrava (gr)=	2017,7
Wgravilla (gr)=	745,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 38 Porcentajes de lajas en el agregado grueso ERIKA

Tamiz	Retenido		%Lajas	
	grava	gravilla	grava	gravilla
14,4x60(mm)	156,4	0	7,75	0,00
10,2x50(mm)	87,5	4,1	4,34	0,55
7,2x40(mm)	15,9	51,2	0,79	6,87
4,9x30(mm)	4,2	66,3	0,21	8,89

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Índice de lajas

Tipo de agregado: grava 3/4", gravilla 3/8"

Proceso de cálculo para determinar el índice de lajas:

$$\% \text{ Lajas} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Lajas} = \frac{165,3}{1723,8} * 100$$

$$\% \text{ Lajas} = 9,59\%$$

Tabla 3. 39 Datos para el cálculo índice de lajas

Wgrava+fuelle(1) (gr)=	2087,2
Wgravilla+fuelle(2) (gr)=	1148,8
Wfuelle(1) (gr)=	363,4
Wfuelle(2) (gr)=	373,4
Wgrava (gr)=	1723,8
Wgravilla (gr)=	775,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 40 Porcentajes de lajas en el agregado grueso La Pintada

Tamiz	Retenido		%Lajas	
	grava	gravilla	grava	gravilla
14,4x60(mm)	165,3	0	9,59	0,00
10,2x50(mm)	104,2	18,5	6,04	2,39
7,2x40(mm)	52,6	46,5	3,05	6,00
4,9x30(mm)	12,6	71,6	0,73	9,23

Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Ensayo de equivalente de arena

Norma del ensayo: AASHTO T-176; ASTM D-2419

Alcance: Este ensayo, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz N°4.

Se coloca una muestra del material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un período de sedimentación de 20 minutos se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla.

A continuación, se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en el método AASTHO T-176.

Fig. 3. 16 Ensayo de equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Equivalente de arena

Tipo de agregado: Arena

Proceso de cálculo para determinar el índice de lajas:

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{H1 \text{ (lectura de arena)}}{H2 \text{ (lectura de arcilla)}} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{9,10}{13,20} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = 68,94\%$$

Tabla 3. 41 Porcentajes del equivalente de arena ERIKA

N° de muestra	H1	H2	Equivalente de arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,10	13,20	68,94
2	9,40	14,10	66,67
3	9,30	13,90	66,91
Promedio			67,50

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: La Pintada

Tipo de ensayo: Equivalente de arena

Tipo de agregado: Arena

Proceso de cálculo para determinar el índice de lajas:

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{H1 (\text{lectura de arena})}{H2 (\text{lectura de arcilla})} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{8,30}{11,20} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = 74,11\%$$

Tabla 3. 42 Porcentajes del equivalente de arena La Pintada

N° de muestra	H1 (cm)	H2 (cm)	Equivalente de arena (%)
1	8,30	11,20	74,11
2	8,50	11,40	74,56
3	8,90	10,90	81,65
Promedio			76,77

Fuente: Elaboración propia

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

3.3.1. Cemento asfáltico

Para el presente proyecto se utilizó un cemento asfáltico de procedencia brasilera de Stratura 85-100 el mismo se lo adquirió de la empresa ERIKA, con el cual se realizaron ensayos de caracterización en el laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), al igual que los agregados pétreos a continuación se realizará un breve resumen de lo que fueron los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

3.3.2. Ensayo de penetración

Norma: ASTM D 5; AASHTO T 49-97

Alcance: El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico este ensayo puede clasificar el tipo de asfalto, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100gr y que la carga se aplica durante 5seg. Este procedimiento se realizó en 3 capsulas diferentes y de esta manera se obtuvo un promedio.

La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad de penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Fig. 3. 17 Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. 18 Muestras en baño María por un determinado tiempo



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Penetración

Tipo de asfalto: 85-100

Proceso de cálculo para determinar la penetración es netamente práctico a continuación las mediciones y resultado promedio de los 3 ensayos realizados:

Tabla 3. 43 Resultado de la penetración del asfalto 85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	dm/mm.	99	97	94
	dm/mm.	95	93	89
	dm/mm.	87	89	87
Promedio	dm/mm.	94	93	90
Resultado	dm/mm.	92		

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Se tiene como resultado una penetración de 92 mm a 25°C, 100 gr. 5seg.

3.3.3. Ensayo de ductilidad

Norma: ASTM D 113; AASHTO T 51-00

Alcance: La ductilidad de un material bituminoso es la longitud medida en cm. a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de un molde confeccionado con una muestra y de la forma descrita en la gráfica se traccionan a la velocidad y temperatura especificada. A menos que otra condición se especifique. El ensayo se efectuara a una temperatura de

25°C y a una velocidad 5cm/min. Para otras temperaturas deberán especificarse la velocidad.

Fig. 3. 19 Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Ductilidad

Tipo de asfalto: 85-100

Proceso de cálculo para determinar la ductilidad es netamente práctico a continuación las mediciones y resultado promedio.

Tabla 3. 44 Resultado de la ductilidad del cemento asfáltico 85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm	109	105	101
Resultado	cm	105		

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Se tiene como resultado una ductilidad de 105cm. a 25°C.

3.3.4. Ensayo de punto de inflamación

Norma: ASTM D 1310-01; AASHTO T 79-96

Alcance: El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo del vaso abierto Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en los métodos AASHTO T-48 y ASTM D-92. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de

la muestra una pequeña llama, y se define como punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

Fig. 3. 20 Ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Punto de inflamación

Tipo de asfalto: 85-100

Tabla 3. 45 Resultado del ensayo de punto de inflamación del cemento asfáltico 85-100

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	268	270	267
Resultado	°C	268		

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Se tiene como resultado una temperatura de 268°C

3.3.5. Ensayo de pérdida de masa

Norma: ASTM D 175; AASHTO T 179-05

Alcance: Este método describe un ensayo para determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos (envejecimiento del asfalto). Los efectos de este tratamiento son determinados para la medida de las propiedades asfálticas antes y después del ensayo

Este método indica la susceptibilidad aproximada de la dureza o pérdida de la ductilidad del cemento asfáltico, dicho proceso se realiza en un horno centrífugo a una temperatura de 163°C por un tiempo de 5 horas, una vez realizada la diferencia de pesos antes del horno centrífugo y después del horno obtendremos la pérdida de masa en porcentaje que por norma no debe ser mayor al 1%.

Fig. 3. 21 Horno centrífugo usado en el ensayo de pérdida de masa



Fuente: Elaboración propia

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Pérdida de masa por película delgada

Tipo de asfalto: 85-100

Tabla 3. 46 Resultado de la pérdida de masa por película delgada

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso de la muestra + tara antes del horno	gr	51,3	52,45	59,14
Peso de la muestra + tara después del horno	gr	51,08	51,48	58,24
Pérdida de masa AASHTO T 179-05	gr	0,22	0,97	0,9
Porcentaje de pérdida	%	0,21	0,93	0,77
Resultado	%	0,64		

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Se tiene como resultado una pérdida de masa de 0.64%

3.3.6. Ensayo de punto de ablandamiento

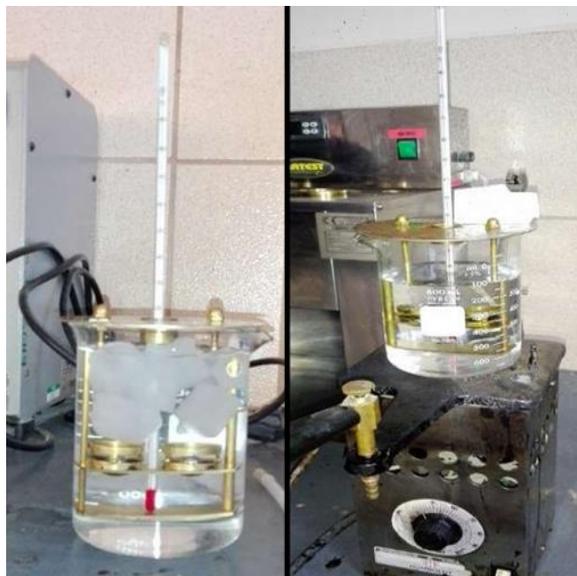
Norma: ASTM D 36; AASHTO T 53-96

Alcance: Los asfaltos de diferentes tipos se ablandan a temperaturas diferentes. El punto de ablandamiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados.

A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Fig. 3. 22 Ensayo del punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Punto de ablandamiento

Tipo de asfalto: 85-100

Tabla 3. 47 Resultado del ensayo punto de ablandamiento

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento AASHTO T 53-96	°C	44,6	43,4
Resultado	°C	44	

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Se tiene como resultado una temperatura de 44°C

3.3.7. Ensayo de peso específico

Norma: ASTM D 71; AASHTO T 229-97

Alcance: Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos AASHTO T-229-97 y ASTM D-71.

Fig. 3. 23 Ensayo del peso específico del cemento asfáltico 85-100



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Peso específico

Tipo de asfalto: 85-100

Proceso de cálculo para determinar el peso específico:

$$\text{Peso Específico} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{(61,51 - 31,9)}{(78,1 - 31,9) - (77,9 - 61,51)}$$

$$\text{Peso Específico} = 0,993 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso Específico} = 0,993 * 0,99707$$

$$\text{Peso Específico} = 0,990 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Tabla 3. 48 Tabla de corrección por temperatura

T °C	Densidad relativa del agua (gr/cm3)	T °C	Densidad relativa del agua (gr/cm3)
10	0,99973	21	0,99820
11	0,99963	22	0,99780
12	0,99952	23	0,99757
13	0,99940	24	0,99733
14	0,99927	25	0,99707
15	0,99913	26	0,99681
16	0,99897	27	0,99654
17	0,99880	28	0,99626
18	0,99862	29	0,99597
19	0,99843	30	0,99586
20	0,99823		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 49 Resultados del ensayo de peso específico del cemento asfáltico 85-100

Muestra N°	Temperatura °C	Peso del frasco "A" (gr)	Peso del frasco + agua "B" (gr)	Peso del frasco parcialmente lleno con asfalto "C" (gr)	Peso del frasco + asfalto + agua "D" (gr)	Peso específico (gr/cm3)	Peso específico (gr/cm3)
1	25	31,9	78,1	61,51	77,9	0,993	0,990
2	25	32,7	80,1	61,3	80,76	1,024	1,021
3	25	32,9	80,7	61,4	80,72	1,002	0,999
Promedio:						1,006	1,003

Fuente: Elaboración propia

3.3.8. Ensayo de SAYBOLT para la viscosidad

Norma: ASTM D 244

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos a 135°C debido a que a esta temperatura los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos, este método nos permite conocer los valores de la resistencia del asfalto al fluir.

El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través del orificio Furol, calibrado bajo condiciones especificadas. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Universal y se recomienda para productos del petróleo que tienen viscosidad mayor que 1000 s (Saybolt Universal) tales como combustible, aceites y otros materiales residuales. La palabra “Furol” es una contracción de fuel and road oils.

Fig. 3. 24 Ensayo de viscosidad del cemento asfáltico a 135°C mediante SAYBOLT



Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Proyecto: Análisis de la deformación en mezclas asfálticas aplicando una carga estática

Interesado: Higuera Fernandez Eylan Belarmino

Procedencia: Constructora ERIKA

Tipo de ensayo: Viscosidad a 135°C mediante SAYBOLT

Tipo de asfalto: 85-100

Proceso de cálculo para determinar el peso específico:

Tabla 3. 50 Ensayo de viscosidad por Saybolt Furol a 135°C

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Ensayo de viscosidad Saybolt furol a 135°C ASTM D 244	seg	136	139
Resultado	seg	138	

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Se tiene como resultado un tiempo de 138 segundos.

3.4. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

3.4.1. Resultados de los materiales pétreos empleados

Según la caracterización de los materiales provenientes de la empresa ERIKA y seleccionadora de La Pintada realizada en los laboratorios de la universidad autónoma Juan Misael Saracho y basándonos en las especificaciones la norma ASTM especificada en la siguiente tabla tenemos como resultado lo siguiente:

Tabla 3. 51 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos ERIKA

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	40%	18,31%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	15,74%	
Peso específico y % de absorción en agregados gruesos	Grava 3/4"	-	-	2,69gr/cm ³ - 1,68%	C-127
	Gravilla 3/8	-	-	2,71gr/cm ³ - 2,10%	
Peso específico y absorción del agregado fino	P.E.	-	-	2,54gr/cm ³	D-854
	% absor.	-	-	5,92%	
Peso unitario	Grava 3/4"	-	-	1,572gr/cm ³	C-29
	Gravilla 3/8"	-	-	1,571gr/cm ³	
	Arena	-	-	1,831gr/cm ³	
Equivalente de arena	-	45%	-	67,50%	D-2419
Determinación de las partículas largas y achatadas	Grava 3/4"	-	10%	7,75%	D-4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	8,89%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 52 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos La Pintada

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	40%	19,74%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	29,78%	
Peso específico y % de absorción en agregados gruesos	Grava 3/4"	-	-	2,70gr/cm ³ – 1,54%	C-127
	Gravilla 3/8"	-	-	2,70gr/cm ³ – 2,19%	
Peso específico y absorción del agregado fino	P.E.	-	-	2,46gr/cm ³	D-854
	% absor.	-	-	2,10%	
Peso unitario	Grava 3/4"	-	-	1,482gr/cm ³	C-29
	Gravilla 3/8"	-	-	1,484gr/cm ³	
	Arena	-	-	1,625gr/cm ³	
Equivalente de arena	-	45%	-	76,77%	D-2419
Determinación de las partículas largas y achatadas	Grava 3/4"	-	10%	9,59%	D-4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	9,23%	

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Resultado del material asfáltico empleado Stratura 85-100

A continuación, los resultados obtenidos de la recolección de información, los mismos que son comparados con las especificaciones propuestas por la norma ASTM.

Tabla 3. 53 Resultados de la caracterización del cemento asfáltico Stratura 85-100

Ensayo	Especificaciones técnicas		Resultados	Norma
	mínimo	máximo		
Penetración	85	100	92 dm/mm	ASTM D 5, AASHTO T 49-97
Ductilidad	100	-	105 cm	ASTM D 113. AASHTO T 51-00
Punto de inflamación	232	-	268 °C	ASTM D 1310-01, AASHTO T 79-96
Punto de ablandamiento	43	53	44 °C	ASTM D 36, AASHTO T 53-96
Pérdida de masa	-	1%	0,64%	ASTM D 175, AASHTO T 179-05
Peso específico	1	1,05	1,003 gr/cm ³	ASTM D 71, AASHTO T 229-97
Viscosidad Saybolt Furol a 135°C	85	-	138 s	ASTM D 244

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN POR MEDIO DE UNA CARGA ESTÁTICA

4.1. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Para el diseño de mezclas asfálticas es necesario obtener una curva granulométrica que se encuentre dentro de límites establecidos por norma, en este caso se basaremos en la norma ASTM D3515 (Instituto del asfalto) específicamente para un tamaño máximo nominal de 3/4" para nuestro caso.

Tabla 4. 1 Graduaciones propuestas para mezclas asfálticas

Abertura de malla	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 pulg. (50.00 mm.)	1 ½ pulg. (37.50 mm.)	1 pulg. (25.00 mm.)	¾ pulg. (19.00 mm.)	½ pulg. (12.50 mm.)	3/8 pulg. (9.50 mm.)	N °4 (4.75 mm.)	N °8 (2.36 mm.)	N °16 (1.18 mm.)
2 ½ " (63.0 mm.)	100-100	-	-	-	-	-	-	-	-
2 " (50.0 mm.)	90-100	100-100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½ " (37.5 mm.)	-	90-100	100-100	-	-	-	-	-	-
1 " (25.0 mm.)	60-80	-	90-100	100-100	-	-	-	-	-
¾ " (19.0 mm.)	-	56-80	-	90-100	100-100	-	-	-	-
1/2 " (12.5 mm.)	35-65	-	56-80	-	90-100	100-100	-	-	-
3/8 " (9.5 mm.)	-	-	-	56-80	-	90-100	100-100	-	-
N °4 (4.75 mm.)	17-47	23-53	29-53	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100-100
N °8 (2.36 mm.)	13-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-10	-	95-100
N °16 (1.18 mm.)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
N °30 (600 µm.)	-	-	-	-	-	-	35-65	-	70-95
N °50 (300 µm.)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
N °100 (150 µm.)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
N °200 (75 µm.)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20
Asfalto , porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
%	2-7	3-9	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

Fuente: ASTM D3515; Especificación estándar para mezclas asfaltadas bituminosas de mezcla en caliente.

4.1.1. Combinación de agregados provenientes de la constructora ERIKA

A continuación, se realizará la combinación de agregados según la granulometría realizada:

Tabla 4. 2 Granulometría formada para el diseño Marshall ERIKA

Tamices	Tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	Total			
		Peso ret. a 3000 gr	Peso ret. a 3000 gr	Peso ret. a 3000 gr	al	al	al	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
					0,25	0,30	0,45	1			
1"	25,4	12,78	0	0	3,20	0,00	0,00	3,20	3,20	0,11	99,89
3/4"	19,0	186,9	0	0	46,73	0,00	0,00	46,73	49,92	1,66	98,34
1/2"	12,5	2105,82	0	0	526,46	0,00	0,00	526,46	576,38	19,22	80,78
3/8"	9,50	598,92	159,53	0	149,73	47,86	0,00	197,59	773,96	25,80	74,20
Nº4	4,75	89,82	2648,60	139,2	22,46	794,58	62,64	879,68	1653,64	55,13	44,87
Nº8	2,36	0	0,00	533,1	0,00	0,00	239,90	239,90	1893,53	63,13	36,87
Nº16	1,18	0	0,00	468,3	0,00	0,00	210,74	210,74	2104,27	70,16	29,84
Nº30	0,60	0	0,00	417	0,00	0,00	187,65	187,65	2291,92	76,41	23,59
Nº50	0,30	0	0,00	429	0,00	0,00	193,05	193,05	2484,97	82,85	17,15
Nº100	0,15	0	0,00	382,8	0,00	0,00	172,26	172,26	2657,23	88,59	11,41
Nº200	0,075	0	0,00	299,1	0,00	0,00	134,60	134,60	2791,82	93,08	6,92
BASE	-	5,46	191,83	330,3	1,37	57,55	148,64	207,55	2999,37	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

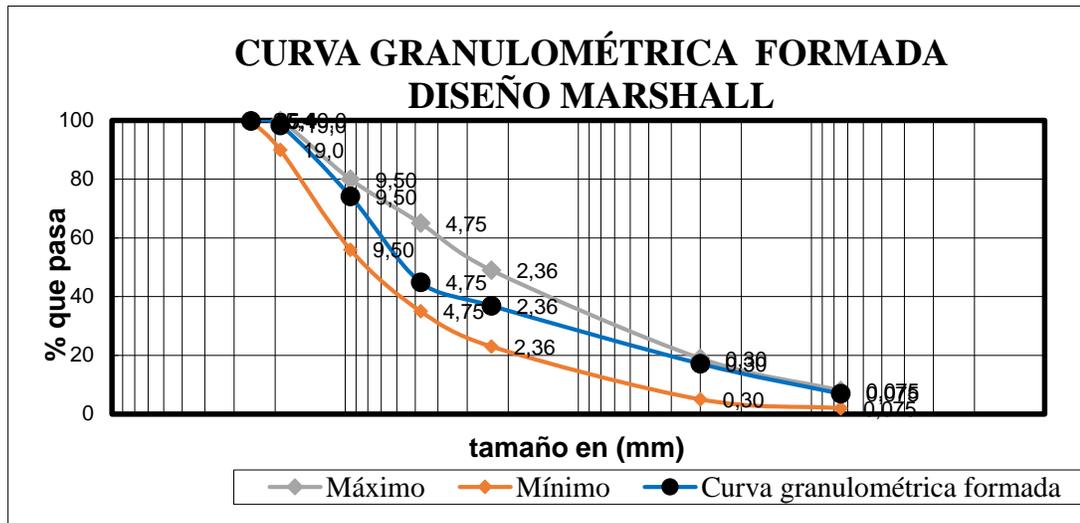
Tabla 4. 3 Porcentajes granulométricos obtenidos para el diseño Marshall ERIKA

Tamaño Tamiz (plg)	Tamaño Tamiz (mm)	% pasa de la muestra	mínimo (%)	máximo (%)
1"	25,4	99,89	100	100
3/4"	19,0	98,34	90	100
3/8"	9,50	74,20	56	80
Nº4	4,75	44,87	35	65
Nº8	2,36	36,87	23	49
Nº50	0,30	17,15	5	19
Nº200	0,075	6,92	2	8

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la curva granulométrica formada entre las curvas límites, haciendo visible la buena gradación donde se puede observar que no será necesario agregar filler a la mezcla asfáltica.

Gráfico N°: 4. 1 Curva granulométrica formada para el diseño Marshall ERIKA



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la curva granulométrica formada, podemos concluir que los agregados están óptimos para realizar el diseño Marshall según los límites establecidos por norma ASTM D3515 para un tamaño máximo nominal de 3/4", por lo que se usara los porcentajes de 25% de grava 3/4", 30% de gravilla 3/8" y 45% arena fina.

4.1.2. Combinación de agregados provenientes de La Pintada

A continuación, se realizará la combinación de agregados según la granulometría realizada:

Tabla 4. 4 Granulometría formada para el diseño Marshall La Pintada

Tamices	Tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	Total			
		Peso ret. a 3000 gr	Peso ret. a 3000 gr	Peso ret. a 3000 gr	al	al	al	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total
					0,25	0,30	0,45				
1"	25,4	2,1	0,00	0	0,53	0,00	0,00	0,53	0,53	0,02	99,98
3/4"	19,0	35,94	0,00	0	8,98	0,00	0,00	8,98	9,51	0,32	99,68
1/2"	12,5	1768,56	19,51	0	442,14	5,85	0,00	447,99	457,50	15,25	84,75
3/8"	9,50	1020,6	898,02	0	255,15	269,41	0,00	524,56	982,06	32,74	67,26
Nº4	4,75	163,44	2032,65	51,3	40,86	609,80	23,09	673,74	1655,80	55,21	44,79
Nº8	2,36	0	0,00	274,5	0,00	0,00	123,53	123,53	1779,33	59,33	40,67
Nº16	1,18	0	0,00	229,2	0,00	0,00	103,14	103,14	1882,47	62,77	37,23
Nº30	0,60	0	0,00	337,2	0,00	0,00	151,74	151,74	2034,21	67,83	32,17
Nº50	0,30	0	0,00	1094,4	0,00	0,00	492,48	492,48	2526,69	84,25	15,75
Nº100	0,15	0	0,00	570	0,00	0,00	256,50	256,50	2783,19	92,80	7,20
Nº200	0,075	0	0,00	273	0,00	0,00	122,85	122,85	2906,04	96,89	3,11
BASE	-	9,36	49,71	168,6	2,34	14,91	75,87	93,12	2999,16	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

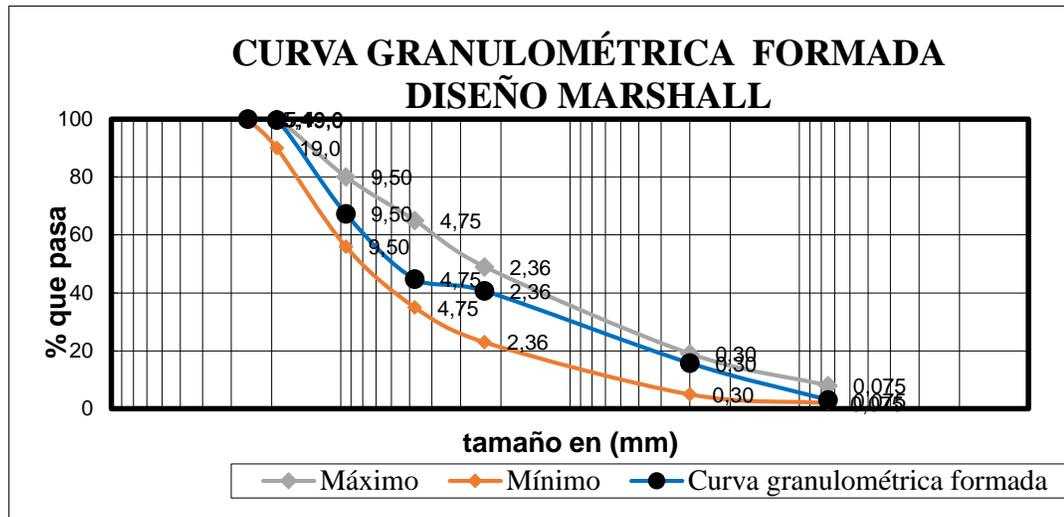
Tabla 4. 5 Porcentajes granulométricos obtenidos para el diseño Marshall La Pintada

Tamaño Tamiz (plg)	Tamaño Tamiz (mm)	% pasa de la muestra	Mínimo	Máximo
1"	25,4	100	100	100
3/4"	19,0	99,68	90	100
3/8"	9,50	67,26	56	80
Nº4	4,75	44,79	35	65
Nº8	2,36	40,67	23	49
Nº50	0,30	15,75	5	19
Nº200	0,075	3,11	2	8

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la curva granulométrica formada entre las curvas límites, haciendo visible la buena gradación donde se puede observar que no será necesario agregar filler a la mezcla asfáltica.

Gráfico N°: 4. 2 Curva granulométrica formada para el diseño Marshall La Pintada



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Dosificación de briquetas según el tipo de agregado

Según los porcentajes de grava (25%), gravilla (30%) y arena (45%) obtenidos por granulometría se obtiene una distribución de agregados relacionados a un cierto porcentaje de cemento asfáltico, los mismos se resumen en la siguiente dosificación los cuales darán lugar a la creación de briquetas.

Las briquetas elaboradas de mezclas asfálticas en caliente son especímenes compuestos por agregado mineral y cemento asfáltico formados por un molde cilíndrico bajo temperaturas limitadas y a la vez compactadas un cierto grado de energía de compactación, dicho proceso será explicado a mayor detalle más adelante.

Tabla 4. 6 Dosificación para briquetas ERIKA

ERIKA	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de agregado (%)	96,0%	95,5%	95,0%	94,5%	94,0%	93,5%
Peso del cemento asfáltico (gr)	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	288,00	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50
Peso de gravilla (gr)	345,60	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de arena (gr)	518,40	515,70	513,00	510,30	507,60	504,90
Peso total de la briketa (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 7 Dosificación para briquetas La Pintada

La Pintada	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de agregado (%)	96,0%	95,5%	95,0%	94,5%	94,0%	93,5%
Peso del cemento asfáltico (gr)	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	288,00	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50
Peso de gravilla (gr)	345,60	343,80	342,00	340,20	338,40	336,60
Peso de arena (gr)	518,40	515,70	513,00	510,30	507,60	504,90
Peso total de la briketa (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención del porcentaje óptimo de asfalto son necesarios estos datos de dosificación, para así una vez formada las briquetas seguir con el proceso de medición de alturas, peso seco, peso sumergido, peso a 25°C por 5min y finalmente la estabilidad y fluencia mediante Marshall.

Estos procesos se realizarán con los agregados de La Pintada y ERIKA específicamente 18 briquetas para cada agregado de las cuales una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto, se procederá a la elaboración de briquetas convencionales.

4.1.4. Elaboración de briquetas y toma de datos de las mismas

Una vez obtenida la dosificación, se procedió a la elaboración de briquetas para obtener un porcentaje óptimo de cemento asfáltico donde se trabajó con un total de 18 briquetas descritas en la siguiente tabla.

Tabla 4. 8 Número de briquetas usadas para la obtención del % óptimo

Porcentaje (%)	Número de briquetas
4	3
4,5	3
5	3
5,5	3
6	3
6,5	3

Fuente: Elaboración propia

Se usó la misma cantidad de briquetas para agregados de la empresa ERIKA y La Pintada, los materiales usados son:

Martillo de compactación de 10lb con altura de caída de 18”.

Moldes para briquetas de 4” de diámetro.

Varilla metálica.

Espátula.

Cucharon.

Papel cilíndrico de 4”.

Brocha.

Aceite usado de motor.

Balanza de 0.1gr de precisión.

Termómetro de 360°C.

Extractor de briquetas.

Fuentes metálicas.

Horno gradual.

Hornalla a gas.

Procedimiento: En una balanza se colocará la fuente metálica donde se añadirán los agregados recién sacados del horno gradual y el cemento asfáltico según la dosificación descrita anteriormente, de ahí se la llevará a la hornalla donde se calentará a una temperatura entre 140-160°C con la ayuda de una espátula hacemos que la mezcla sea total, una vez alcanzada la temperatura deseada se sacará el molde del horno donde ira el papel cilíndrico con aceite al fondo para evitar que la mezcla tenga contacto con el molde, entonces con un cucharon se añade la mezcla en dos capas en cada capa se apisonará con la varilla los costados para evitar amplios vacíos en la briqueta, una vez apisonada las dos capas se colocará el segundo papel con aceite en la parte superior y procederá a la compactación totalmente vertical de 75 golpes continuos por lado, una vez compactado se deberá dejar enfriar el molde con la mezcla a temperatura ambiente por media hora para recién desmoldar.

Fig. 4. 1 Pesaje de la dosificación de la mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Fig. 4. 2 Preparación de la mezcla asfáltica en caliente



Fuente: Elaboración propia

Fig. 4. 3 Desmoldado de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Este proceso se repetirá hasta alcanzar el número de briquetas deseadas para recién proceder con el pesaje en seco, pesaje sumergido, pesaje después de sumergir por 5min. a 25°C y finalmente romper la briqueta mediante el método Marshall para la obtención de estabilidad y fluencia.

Fig. 4. 4 Peso sumergido de las briquetas



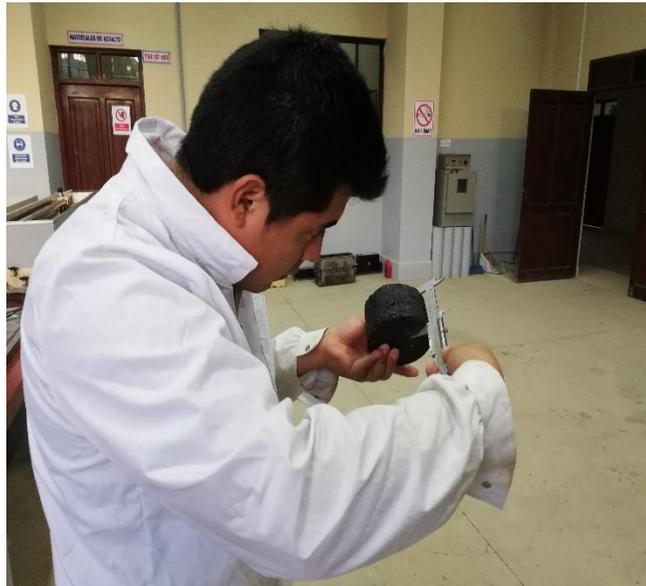
Fuente: Elaboración propia

Fig. 4. 5 Briquetas antes de ser pesadas a 25°C por 5 minutos



Fuente: Elaboración propia

Fig. 4. 6 Medición de alturas en cuatro lados de la briqueta



Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Obtención del porcentaje óptimo de asfalto 85-100

Una vez obtenido todos los datos necesarios, se procederá a la obtención del porcentaje óptimo de asfalto para una mezcla convencional en caliente mediante densidad, estabilidad, fluencia, porcentaje de vacíos de la mezcla, relación betún vacíos y relación de vacíos mineral.

Tabla 4. 9 Datos de la mezcla asfáltica convencional constructora ERIKA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAE SARACHO																					
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA																					
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN																					
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA)																					
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS METODO MARSHALL																					
MUESTRA CON CEMENTO ASFÁLTICO 85/100																					
TEMPERATURA DE MEZCLADO 140 -160												FECHA: ABRIL 2019									
PROCEDENCIA DEL AGREGADO: EMPRESA ERIKA S.R.L.												LABORATORISTA: UNIV. HIGUERAS FERNANDEZ EYLAN B.									
PESOS ESPECÍFICOS			% de agregado			NUMERO DE GOLPES 75						Agregado			P.E.		%				
Mat. retenido Tamiz N°4			2,70			55			CEMENTO ASFALTICO BETUNEL 85-100						Grava		2,69		25		
Mat. pasa tamiz N°4			2,54			45			PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-228						Gravilla		2,71		30		
Peso especifico total			2,63			100			1,0030						Arena		2,54		45		
												Filler		0		0					
N° de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacios			Estabilidad Marshall				Fluencia			
		base Mezcla	base Agregados	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	fluencia real	Fluencia promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
1	6,62	4,00	4,17	1180,2	1183,4	677	506,4	2,33	2,30	2,47	6,63	15,82	58,06	698	1861,4	0,939	1748,56	1908	240	0,094	8,399
2	6,65			1175,5	1178,2	665	513,2	2,29						891	2381,1	0,934	2223,44		190	0,075	
3	6,53			1170,6	1172,8	661	511,8	2,29						687	1831,7	0,956	1751,69		210	0,083	
4	6,23	4,50	4,71	1195,4	1198,8	686	512,8	2,33	2,32	2,45	5,10	15,52	67,15	1098	2938,5	1,032	3032,5	2410	260	0,1024	8,92
5	6,23			1160,1	1163,3	658	505,3	2,30						731	1950,2	1,032	2012,62		230	0,0906	
6	6,20			1180,6	1184,1	680	504,1	2,34						787	2101	1,040	2185,05		190	0,0748	
7	6,05	5,00	5,26	1175,8	1178,9	677	501,9	2,34	2,34	2,43	3,78	15,43	75,51	997	2666,5	1,087	2898,49	2697	210	0,0827	9,45
8	6,20			1195,4	1198,8	686	512,8	2,33						951	2542,6	1,040	2644,34		260	0,1024	
9	6,08			1155,8	1159,1	665	494,1	2,34						885	2364,9	1,078	2549,37		250	0,0984	
10	6,15	5,50	5,82	1180,2	1186,1	678	508,1	2,32	2,33	2,41	3,29	16,07	79,56	928	2480,7	1,056	2619,62	2609	260	0,1024	10,10
11	6,18			1195,4	1199,5	682	517,5	2,31						914	2443	1,046	2555,38		220	0,0866	
12	6,03			1180,3	1186,3	687	499,3	2,36						908	2426,8	1,093	2652,54		290	0,1142	
13	6,18	6,00	6,38	1195,4	1200,3	687	513,3	2,33	2,32	2,39	3,05	16,94	81,97	738	1969,1	1,046	2059,64	2242	260	0,1024	10,76
14	6,03			1170,9	1178,2	672	506,2	2,31						824	2200,6	1,093	2405,31		310	0,1220	
15	6,03			1170,5	1177,6	673	504,6	2,32						775	2068,7	1,093	2261,09		250	0,0984	
16	6,15	6,50	6,95	1195,4	1201,8	683	518,8	2,30	2,31	2,38	2,95	17,89	83,52	585	1557,1	1,056	1644,26	1807	320	0,1260	11,68
17	5,98			1170,2	1179,5	672	507,5	2,31						674	1796,7	1,109	1992,57		280	0,1102	
18	6,10			1185,7	1192,7	679	513,7	2,31						625	1664,8	1,071	1782,98		290	0,1142	
ESPECIFICACIONES				minimo				3		13		65				1800				8	
				maximo				5		-		75				-				14	

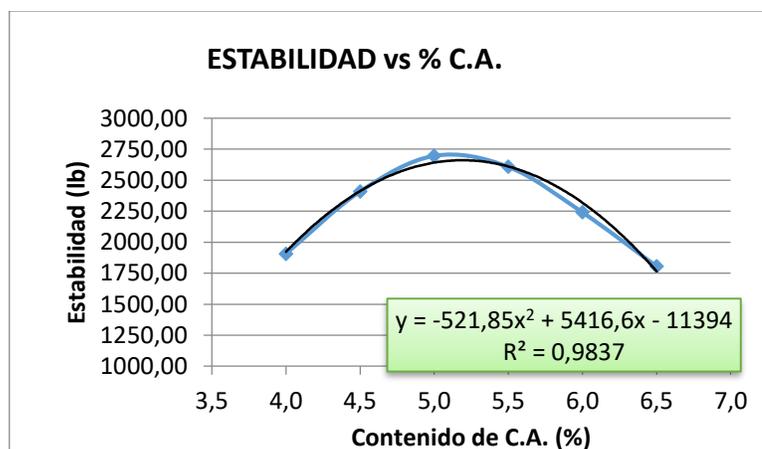
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 10 Valores obtenidos a partir de gráficas para un porcentaje de asfalto ERIKA

Contenido de cemento asfáltico (%)	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de la mezcla total(%)	R.B.V. (Relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (Vacíos de agregado mineral) (%)
4,0	2,303	1907,89	8,40	6,63	58,06	15,82
4,5	2,323	2410,06	8,92	5,10	67,15	15,52
5,0	2,338	2697,40	9,45	3,78	75,51	15,43
5,5	2,332	2609,18	10,10	3,29	79,56	16,07
6,0	2,321	2242,01	10,76	3,05	81,97	16,94
6,5	2,306	1806,60	11,68	2,95	83,52	17,89
X	5,261	5,190	5,45	5,00	4,6803	5,69
Y máx	2,33546	2661,550	11,001	4,001	70,001	16,28

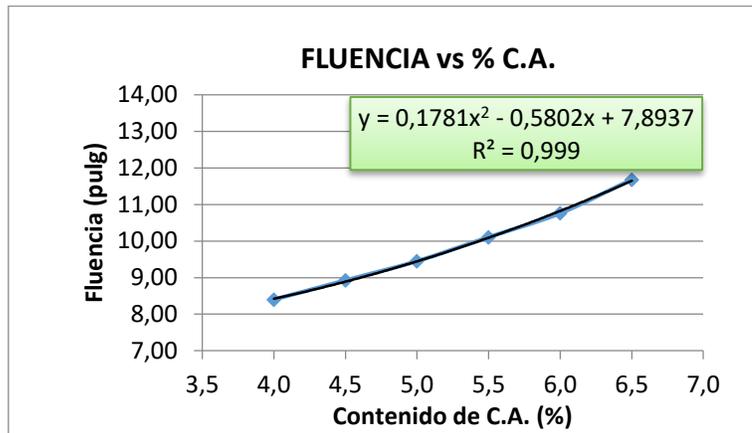
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 3 Estabilidad vs Cemento asfáltico ERIKA



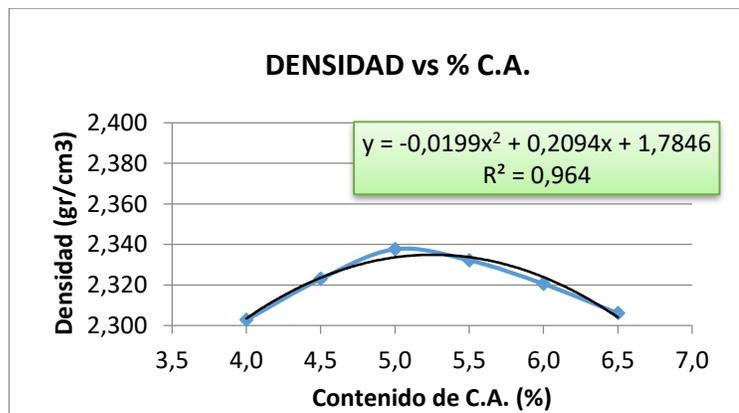
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 4 Fluencia vs Cemento asfáltico ERIKA



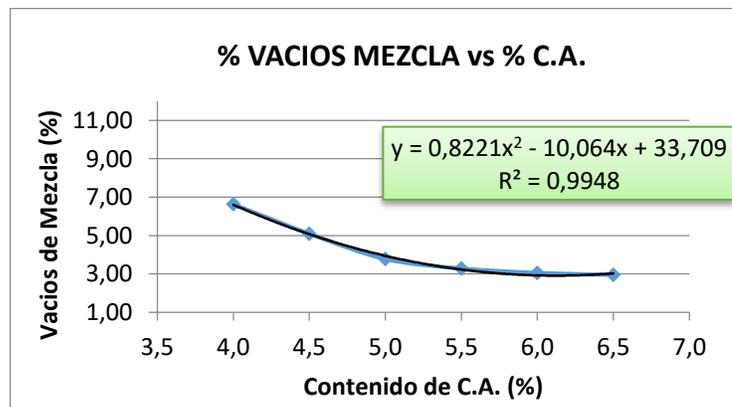
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 5 Densidad vs Cemento asfáltico ERIKA



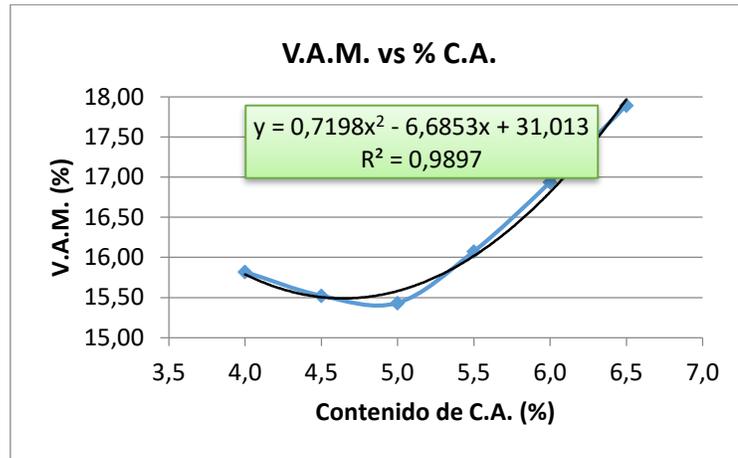
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 6 Porcentaje de vacíos de la mezcla vs Cemento asfáltico ERIKA



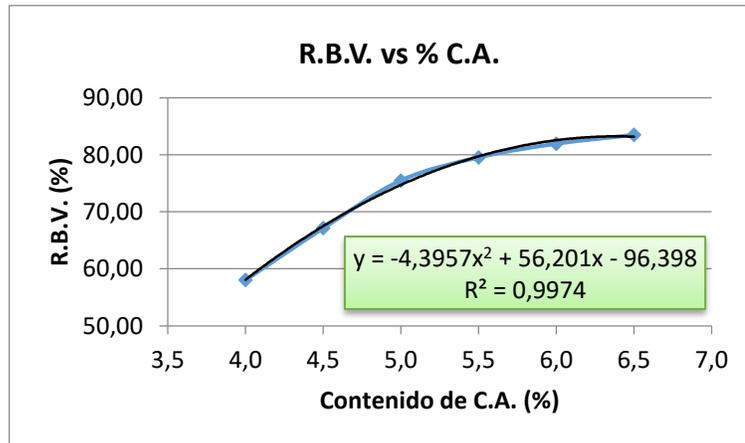
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4.7 Porcentaje de vacíos del agregado mineral vs Cemento asfáltico ERIKA



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4.8 Relación betún vacíos vs Cemento asfáltico ERIKA



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 11 Porcentaje de asfalto obtenido por gráficas y las especificaciones técnicas ERIKA

Propiedades Marshall	Valores			
	% parcial de asfalto (X)	Obtenidos de gráficas (Y)	Especificaciones técnicas	
Estabilidad (Lb)	5,19	2661,55	>1800Lb	
Densidad (gr/cm3)	5,26	2,34	-	-
Vacios de la mezcla (%)	5,00	4,00	3,00	5,00
Relación betún vacíos (%)	4,68	70,00	65,00	75,00
Vacios del agregado mineral (%)	5,69	16,28	13,00	-
Promedio (%)	5,16	Porcentaje óptimo de asfalto		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 12 Valores obtenidos a partir del porcentaje de cemento asfáltico óptimo ERIKA

Propiedades Marshall	Valores			
	% parcial de asfalto (X)	Obtenidos de gráficas (Y)	Especificaciones técnicas	
Estabilidad (Lb)	5,16	2661,09	>1800Lb	
Fluencia (pulg) al 0,01"	5,16	9,64	8,00	14,00
Densidad (gr/cm3)	5,16	2,34	-	-
Vacios de la mezcla (%)	5,16	3,73	3,00	5,00
Relación betún vacíos (%)	5,16	74,94	65,00	75,00
Vacios del agregado mineral (%)	5,16	15,68	13,00	-
Porcentaje óptimo de cemento propuesto (%)			5,16	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 13 Datos de la mezcla asfáltica convencional La Pintada



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAE SARACHO																							
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA																							
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN																							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA)																							
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL																							
MUESTRA CON CEMENTO ASFÁLTICO 85/100																							
TEMPERATURA DE MEZCLADO 140 -160														FECHA: ABRIL 2019									
PROCEDENCIA DEL AGREGADO: PINTADA														LABORATORISTA: UNIV. HIGUERAS FERNANDEZ EYLAN B.									
PESOS ESPECÍFICOS			% de agregado			NUMERO DE GOLPES 75							Agregado			P.E.		%					
Mat. retenido tamiz N°4			2,70			55			CEMENTO ASFALTICO BETUNEL 85-100							Grava			2,70		25		
Mat. pasa tamiz N°4			2,46			45			PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-228							Gravilla			2,70		30		
Peso especifico total			2,59			100			1,0030							Arena			2,46		45		
																Filler			0		0		
N° de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia				
		base Mezcla	base Agregados	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	fluencia real	Fluencia promedio		
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg		
1	6,55	4,00	4,17	1175,2	1178,4	665	513,4	2,29	2,28	2,43	6,25	15,34	59,29	780	2082,2	0,953	1983,26	1915	120	0,047	5,249		
2	6,55			1185,3	1189,2	668	521,2	2,27						746	1990,6	0,953	1896,05		130	0,051			
3	6,68			1180,5	1183,9	666	517,9	2,28						754	2012,1	0,928	1866,27		150	0,059			
4	6,52	4,50	4,71	1165,1	1169,2	665	504,2	2,31	2,30	2,41	4,64	14,97	68,99	813	2171	0,958	2080,06	2156	160	0,0630	5,64		
5	6,65			1185,4	1188,2	670	518,2	2,29						862	2303	0,934	2150,52		120	0,0472			
6	6,48			1185,7	1189,3	676	513,3	2,31						865	2311,1	0,968	2235,94		150	0,0591			
7	6,65	5,00	5,26	1191,2	1195,2	678	517,2	2,30	2,31	2,40	3,80	15,30	75,15	895	2391,8	0,934	2233,5	2246	150	0,0591	6,30		
8	6,65			1191,8	1195,2	679	516,2	2,31						903	2413,4	0,934	2253,61		170	0,0669			
9	6,58			1190,3	1196,1	680	516,1	2,31						890	2378,4	0,947	2252,08		160	0,0630			
10	6,58	5,50	5,82	1185,1	1189,6	675	514,6	2,30	2,30	2,38	3,54	16,12	78,07	870	2324,5	0,947	2201,08	2158	190	0,0748	7,48		
11	6,55			1185,6	1191,3	674	517,3	2,29						865	2311,1	0,953	2201,28		170	0,0669			
12	6,55			1190,3	1196,3	677	519,3	2,29						815	2176,4	0,953	2073,03		210	0,0827			
13	6,50	6,00	6,38	1185,3	1189,6	674	515,6	2,30	2,29	2,36	3,10	16,79	81,55	765	2041,8	0,963	1965,2	1954	200	0,0787	8,79		
14	6,50			1185,9	1189,8	673	516,8	2,29						735	1961	0,963	1887,45		230	0,0906			
15	6,50			1185,6	1191,2	670	521,2	2,27						782	2087,5	0,963	2009,27		240	0,0945			
16	6,42	6,50	6,95	1180,2	1188,9	670	518,9	2,27	2,27	2,35	3,04	17,78	82,91	652	1737,5	0,983	1707,08	1767	260	0,1024	10,24		
17	6,45			1180,8	1190,2	672	518,2	2,28						687	1831,7	0,975	1785,94		240	0,0945			
18	6,48			1190,3	1198,3	674	524,3	2,27						701	1869,4	0,968	1808,67		280	0,1102			
ESPECIFICACIONES				minimo						3			13			65			1800			8	
				maximo						5			-			75			-			14	

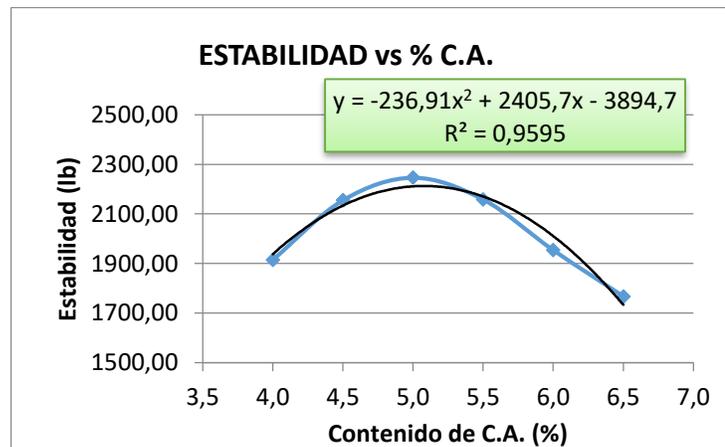
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 14 Valores obtenidos a partir de gráficas para un porcentaje de asfalto La Pintada

Contenido de cemento asfáltico (%)	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% de vacíos de la mezcla total(%)	R.B.V. (Relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (Vacíos de agregado mineral) (%)
4,0	2,281	1915,19	5,25	6,25	59,29	15,34
4,5	2,303	2155,51	5,64	4,64	68,99	14,97
5,0	2,306	2246,40	6,30	3,80	75,15	15,30
5,5	2,296	2158,46	7,48	3,54	78,07	16,12
6,0	2,289	1953,97	8,79	3,10	81,55	16,79
6,5	2,274	1767,23	10,24	3,04	82,91	17,78
X	5,120	5,077	5,32	4,98	4,656	5,586
Y máx	2,30326	2212,4636	11,002	4,000	70,003	16,05

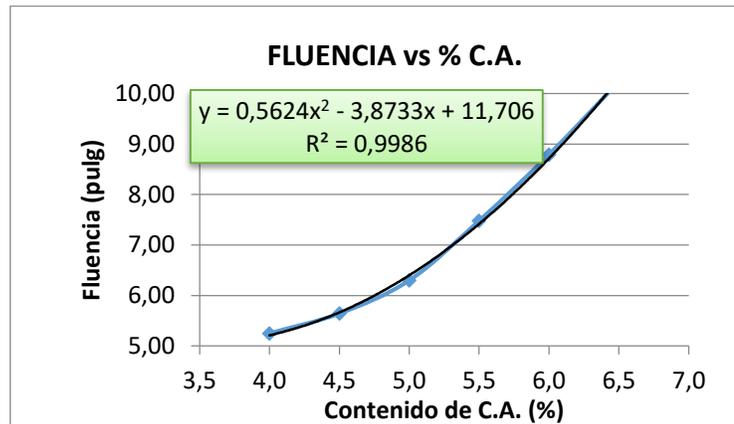
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 9 Estabilidad vs Cemento asfáltico La Pintada



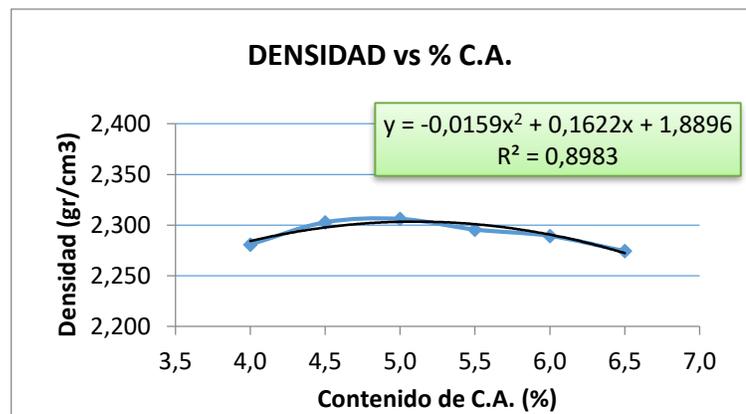
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 10 Fluencia vs Cemento asfáltico La Pintada



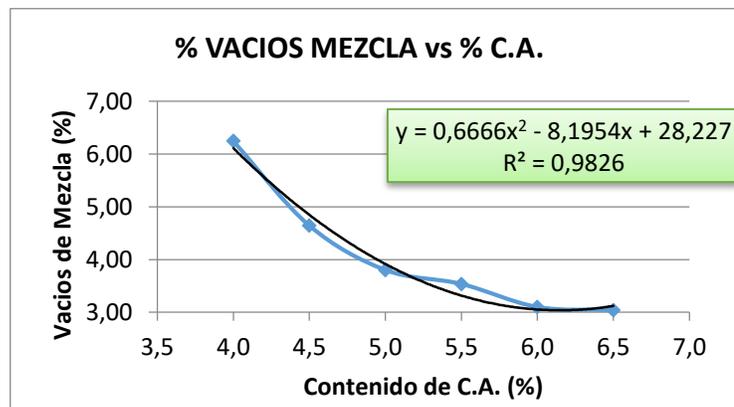
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 11 Densidad vs Cemento asfáltico La Pintada



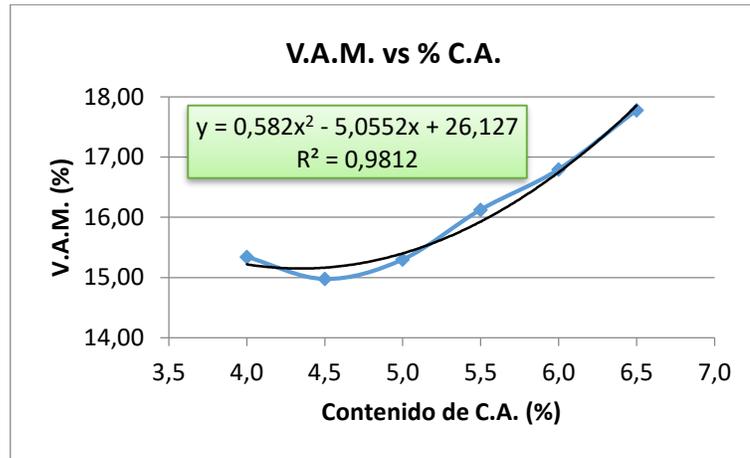
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 12 Porcentaje de vacíos de la mezcla vs Cemento asfáltico La Pintada



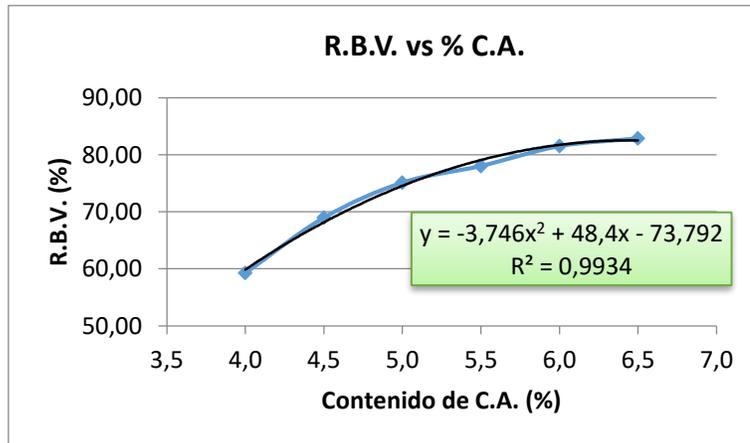
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 13 Porcentaje de vacíos del agregado mineral vs Cemento asfáltico La Pintada



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 14 Relación betún vacíos vs Cemento asfáltico La Pintada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 15 Porcentaje de asfalto obtenido por gráficas y las especificaciones técnicas La Pintada

Propiedades Marshall	Valores			
	% parcial de asfalto (X)	Obtenidos de gráficas (Y)	Especificaciones técnicas	
Estabilidad (Lb)	5,08	2212,46	>1800Lb	
Densidad (gr/cm ³)	5,12	2,30	-	-
Vacios de la mezcla (%)	4,98	4,00	3,00	5,00
Relación betún vacíos (%)	4,66	70,00	65,00	75,00
Vacios del agregado mineral (%)	5,59	16,05	13,00	-
Promedio (%)	5,08	Porcentaje óptimo de asfalto		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 16 Valores obtenidos a partir del porcentaje de cemento asfáltico óptimo La Pintada

Propiedades Marshall	Valores			
	% parcial de asfalto (X)	Obtenidos de gráficas (Y)	Especificaciones técnicas	
Estabilidad (Lb)	5,08	2212,46	>1800Lb	
Fluencia (pulg) al 0,01"	5,08	8,71	8,00	14,00
Densidad (gr/cm ³)	5,08	2,30	-	-
Vacios de la mezcla (%)	5,08	3,86	3,00	5,00
Relación betún vacíos (%)	5,08	75,04	65,00	75,00
Vacios del agregado mineral (%)	5,08	15,47	13,00	-
Porcentaje óptimo de cemento propuesto (%)			5,08	

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Dosificación de briquetas según el porcentaje óptimo

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de cemento asfáltico mediante el método Marshall para una mezcla convencional en caliente, se procederá a la nueva dosificación de briquetas convencionales para los dos agregados procedentes de la constructora ERIKA y La Pintada, los cuales estarán especificados en las siguientes tablas.

Tabla 4. 17 Dosificación con el porcentaje de cemento asfáltico óptimo ERIKA

ERIKA S.R.L.	%C.A.
	5,16%
Porcentaje de agregado (%)	94,84%
Peso del cemento asfáltico (gr)	61,92
Peso de grava (gr)	284,52
Peso de gravilla (gr)	341,42
Peso de arena (gr)	512,14
Peso total de la briqueeta (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 18 Dosificación con el porcentaje de cemento asfáltico óptimo La Pintada

La Pintada	%C.A.
	5,08%
Porcentaje de agregado (%)	94,92%
Peso del cemento asfáltico (gr)	60,96
Peso de grava (gr)	284,76
Peso de gravilla (gr)	341,71
Peso de arena (gr)	512,57
Peso total de la briqueeta (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración propia

4.2. CRITERIO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PESOS Y VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA

Se elaboraron 42 briquetas convencionales en total con porcentajes de cemento asfáltico óptimo, la mitad (21) es de agregado procedente de La pintada y la otra mitad (21) de la empresa ERIKA a cada una de estas briquetas se le aplicará una presión de contacto bajo una determinada temperatura, las mismas se encontrarán confinadas al momento de aplicar la presión que variará desde 0,500 toneladas hasta las 0,850 toneladas esta distribución de pesos fue elaborada de acuerdo a pesos de vehículos con permanencia urbana donde el máximo peso permitido es de 8,2 Ton por eje simple, de acuerdo a los 3 pesos con los cuales se trabajara se hizo conversiones para que estos pesos sean representativos para una rueda tipo la misma junto a una prensa hidráulica trabajarán en

conjunto dicho proceso será desarrollado más adelante, los pesos mencionados están distribuidos en la siguiente tabla.

Tabla 4. 19 Distribución de cargas en vehículos con permanencia urbana

Vehículo	Peso total (ton)	Peso por eje (ton)		Peso por rueda (ton)		Peso más desfavorable (ton)
		delantero	trasero	delantero	trasero	
Camioneta	2,2	0,4	1,8	0,2	0,9	0,90
Micro	5,0	1,0	4,0	0,5	2,0	2,00
Camión condor de carga urbana	8,2	1,6	6,6	0,8	3,3	3,30

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los pesos por rueda, la variación de la temperatura se aplicará desde los 30°C en horno hasta los 60°C con un intervalo de 5°C con un tiempo de calentado mínimo de 2 horas por muestra confinada (este periodo de tiempo es justificado más adelante en el punto 4.4) antes de aplicar la presión de contacto, esta presión será aplicada por un periodo de tiempo de 15 min. como máximo.

4.3. DISTRIBUCIÓN DE CARGA SEGÚN LA PRESIÓN DE CONTACTO DE LA RUEDA TIPO

La rueda modelo de alta resistencia aguanta elevadas presiones de contacto arriba de los 1500 kg aproximadamente para su determinada área de contacto, la cual es apta para el presente trabajo, esta rueda fue elaborada en tornería y adaptada a una prensa hidráulica tal y como se la puede apreciar en la figura 4.7.

Fig. 4. 7 Prensa hidráulica con rueda modelo



Fuente: Elaboración propia

Con esta prensa se aplicará las distintas presiones de contacto según el modelo tipo de la llanta, haciendo un análisis comparativo entre una rueda normal con su área de contacto y la rueda tipo de la imagen.

Se aplicará la siguiente fórmula para la obtención del peso que se deberá ejercer sobre la superficie del asfalto confinado según el área de contacto de la rueda.

$$\frac{F1}{A1} = \frac{F2}{A2}$$

Entonces se tendrá las siguientes cargas según la tabla 4.20.

Tabla 4. 20 Peso que será aplicado según la rueda tipo

Vehículo	Peso por rueda	Área de contacto (cm ²)		Presión de inflado	Área de la rueda tipo (cm ²)		Peso de la rueda tipo
	(TN)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	PSI	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	(TN)
Camioneta	0,90	12	113,10	40	9	63,62	0,500
Micro	2,00	15	176,72	60	9	63,62	0,700
Camión condor de carga urbana	3,30	18	254,47	80	9	63,62	0,850

Fuente: Elaboración propia

Los pesos que serán aplicados a las muestras confinadas fueron redondeados a valores enteros para no tener problemas en la lectura de presiones en la prensa hidráulica, además cada presión de contacto deberá ser aplicada sobre cada muestra confinada un periodo de tiempo de 15 minutos sin descuidar que la presión de contacto baje por deformación.

4.4. VARIACION DE LA TEMPERATURA SOBRE EL PAVIMENTO

Cabe mencionar que las muestras confinadas fueron introducidas en horno de acuerdo a las temperaturas propuestas de 30°C a 60°C haciendo variar con intervalos de 5°C y para que llegue cada muestra a obtener dicha temperatura tuvo que permanecer en horno por un periodo mínimo de 2 horas puesto que a este tiempo se pudo verificar que las muestras alcanzaban las temperaturas deseadas las cuales eran mediadas con el termómetro superficial en la zona que se aplicaría la presión de contacto.

Fig. 4. 8 Muestra calentada y verificada por termómetro superficial



Fuente: Elaboración propia

4.5. ANALISIS DE LA DEFORMACIÓN PARA UNA CIERTA TEMPERATURA BAJO UNA DETERMINADA CARGA

Para llegar a este punto se tuvo que caracterizar el agregado pétreo proveniente de La Pintada y ERIKA, caracterizar el cemento asfáltico proveniente de la empresa ERIKA, obtener el porcentaje óptimo para distintas mezclas (ERIKA 5,16%, La Pintada 5,08%), medir temperaturas superficiales mediante termómetro superficial desde 30°C a 60°C con intervalos de 5°C, obtener mediciones de ruedas para determinar áreas de contacto y compararlas con el área de contacto de nuestra rueda tipo con área de 63,62 cm² para obtener la carga estática deseada, determinación del tiempo de calentado para nuestras muestras confinadas el cual fue aproximado de 2 horas, y finalmente la presión de contacto mediante una prensa hidráulica en la que iba incluida la rueda tipo de alta resistencia las mismas fueron 0,500, 0,700 y 0,850 toneladas, dicha prensa aplicó 42 veces presiones sobre superficies de muestras confinadas elaboradas con material pétreo de La Pintada y ERIKA logrando los siguientes resultados:

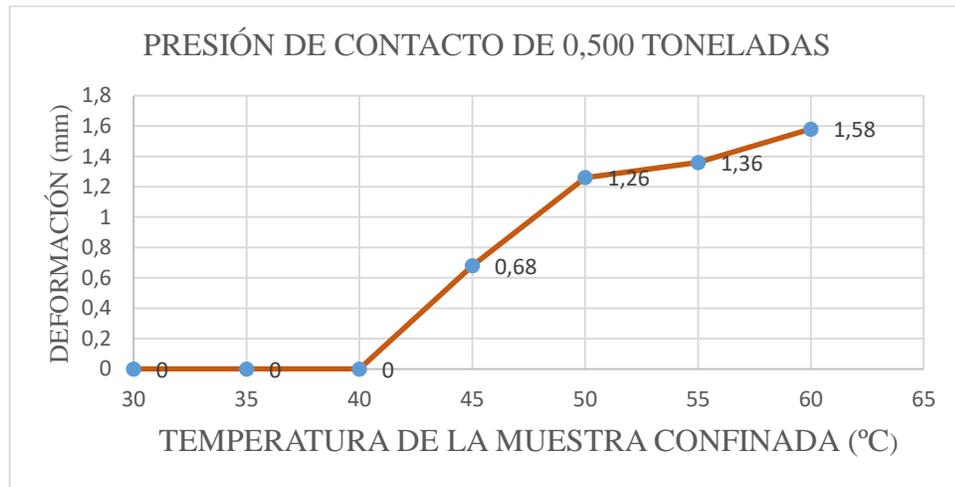
Tabla 4. 21 Deformación en una mezcla asfáltica aplicando una carga estática haciendo variar la temperatura La Pintada

La Pintada			
Temperatura (°C)	Peso (ton)		
	0,500	0,700	0,850
	Deformación (mm)		
30	0	0	0
35	0	0,16	0,22
40	0	0,68	0,78
45	0,68	1,16	1,3
50	1,26	1,52	1,66
55	1,36	1,74	1,82
60	1,58	1,82	2,18

Fuente: Elaboración propia

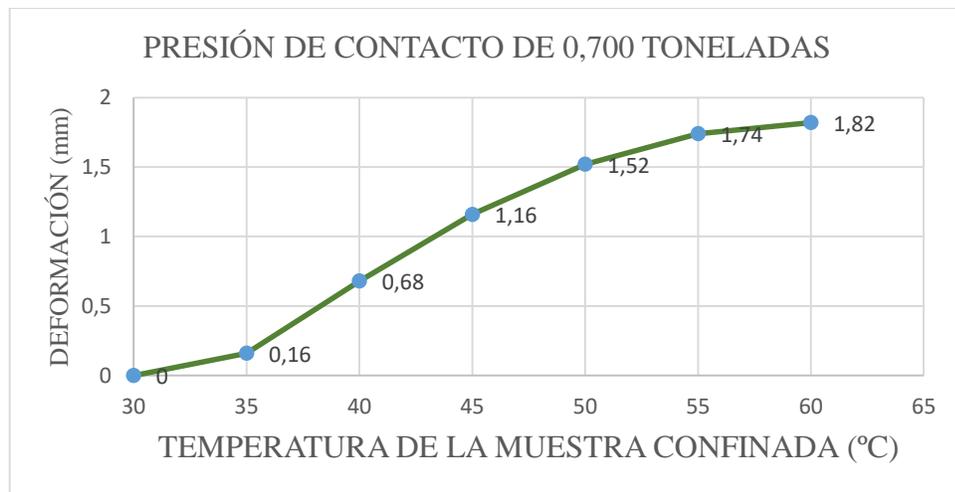
Aclaración. - Las mediciones de alturas en las briquetas una vez que se realizó la respectiva presión de contacto sobre cada superficie confinada, podrán ser apreciadas en el ANEXOS 5.

Gráfico N°: 4. 15 Deformación vs Temperatura a 0,500 toneladas de presión La Pintada



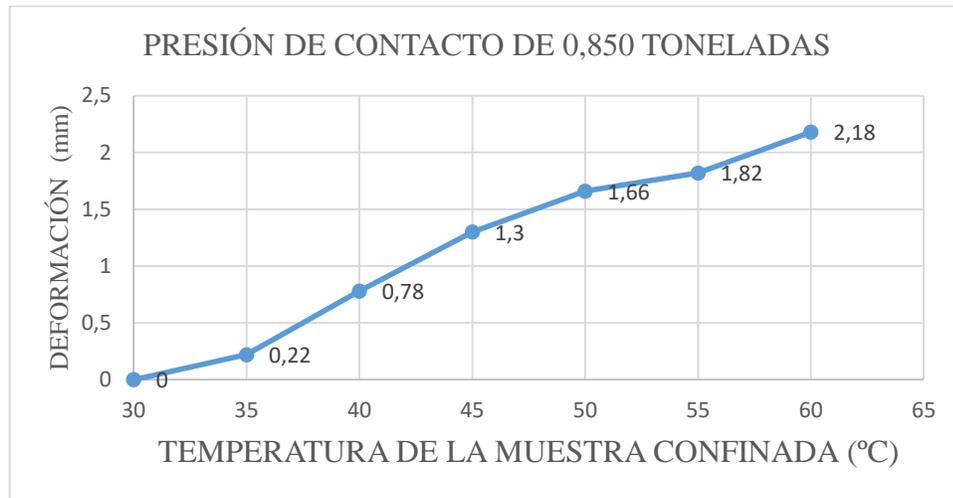
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 16 Deformación vs Temperatura a 0,700 toneladas de presión La Pintada



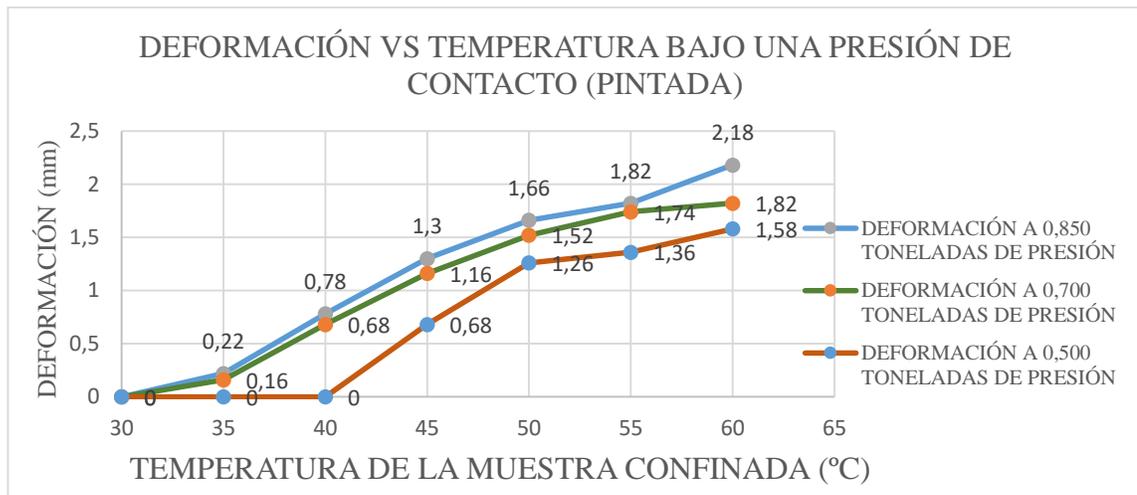
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 17 Deformación vs Temperatura a 0,850 toneladas de presión La Pintada



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 18 Influencia de la temperatura y presión de contacto en la deformación de mezclas asfálticas La Pintada



Fuente: Elaboración propia

Se puede ver claramente en el gráfico 4.18 como va en aumento la deformación en la superficie de la muestra confinada con material pétreo proveniente de La Pintada, pese a que son valores pequeños cabe mencionar que la falla ya está presente y esta puede o no continuar con el tiempo de una u otra forma, también se puede observar que a la temperatura de 30°C superficiales no presenta deformación en ninguna de las 3 presiones ejercidas.

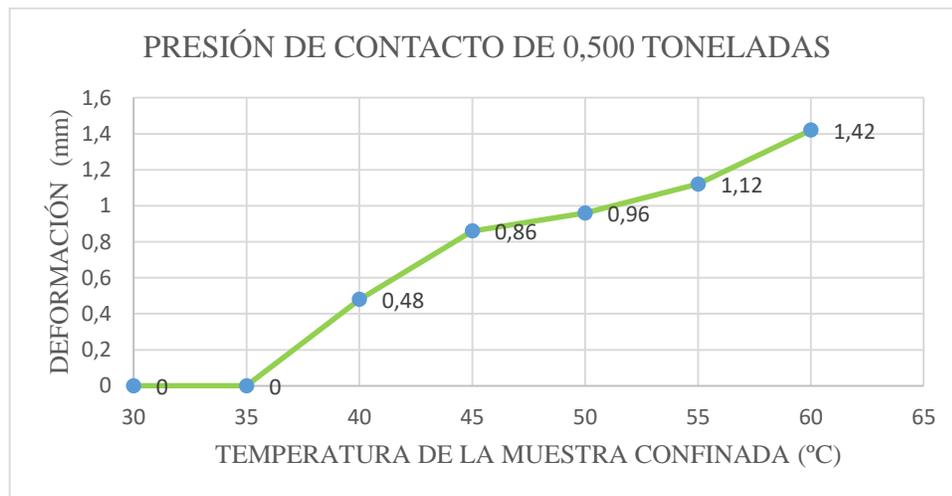
Tabla 4. 22 Deformación en una mezcla asfáltica aplicando una carga estática haciendo variar la temperatura ERIKA

ERIKA			
Temperatura (°C)	Peso (ton)		
	0,500	0,700	0,850
	Deformación (mm)		
30	0	0	0
35	0	0,34	0,30
40	0,48	0,62	0,94
45	0,86	1,14	1,24
50	0,96	1,42	1,64
55	1,12	1,68	2,04
60	1,42	1,92	2,34

Fuente: Elaboración propia

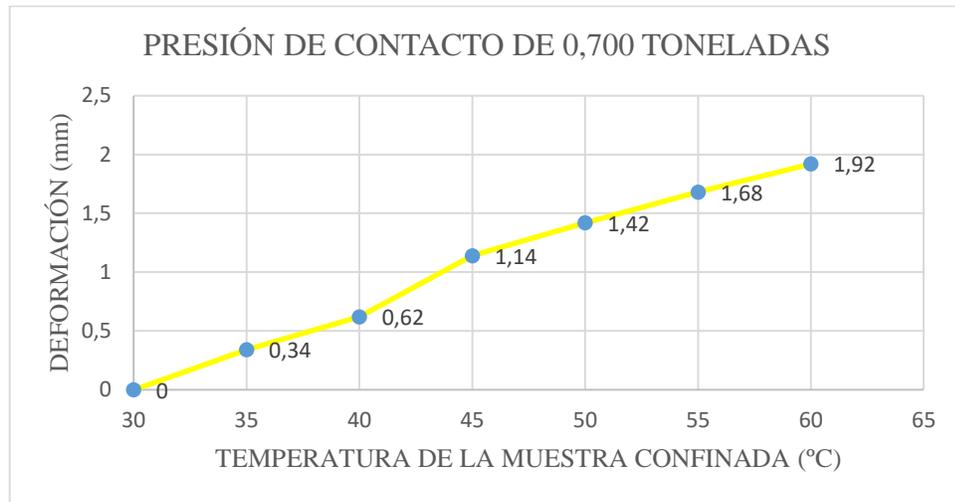
Aclaración. - Las mediciones de alturas en las briquetas una vez que se realizó la respectiva presión de contacto sobre cada superficie confinada, podrán ser apreciadas en el ANEXOS 5.

Gráfico N°: 4. 19 Deformación vs Temperatura a 0,500 toneladas de presión ERIKA



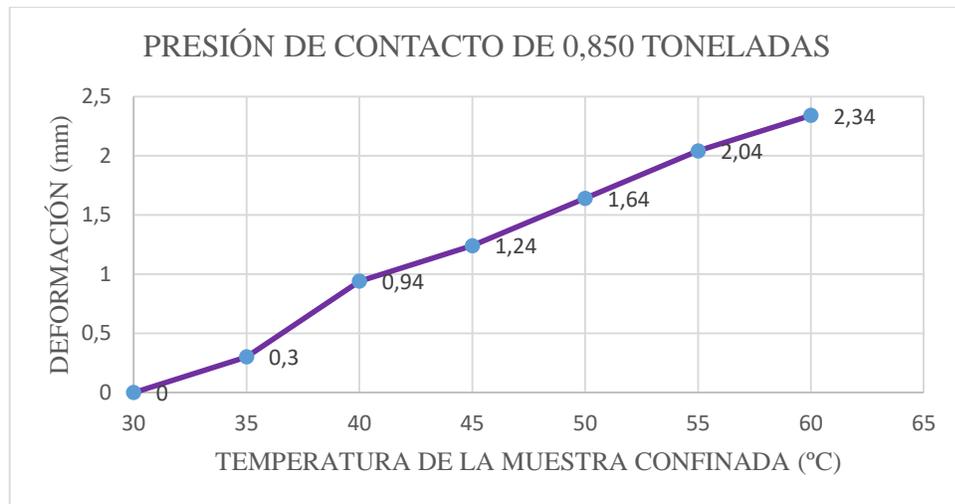
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 20 Deformación vs Temperatura a 0,700 toneladas de presión ERIKA



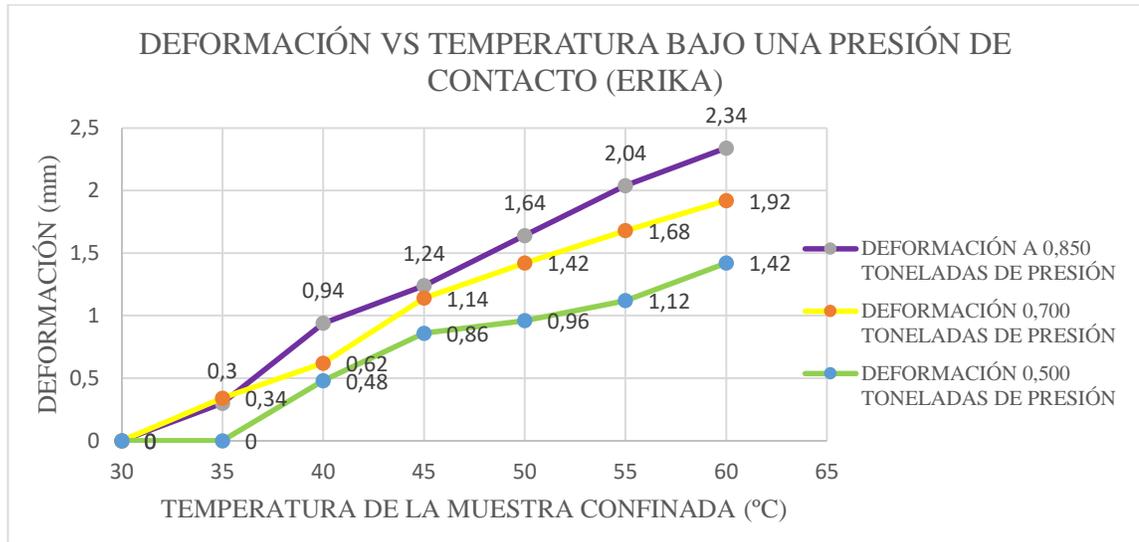
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 21 Deformación vs Temperatura a 0,850 toneladas de presión ERIKA



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 22 Influencia de la temperatura y presión de contacto en la deformación de mezclas asfálticas ERIKA



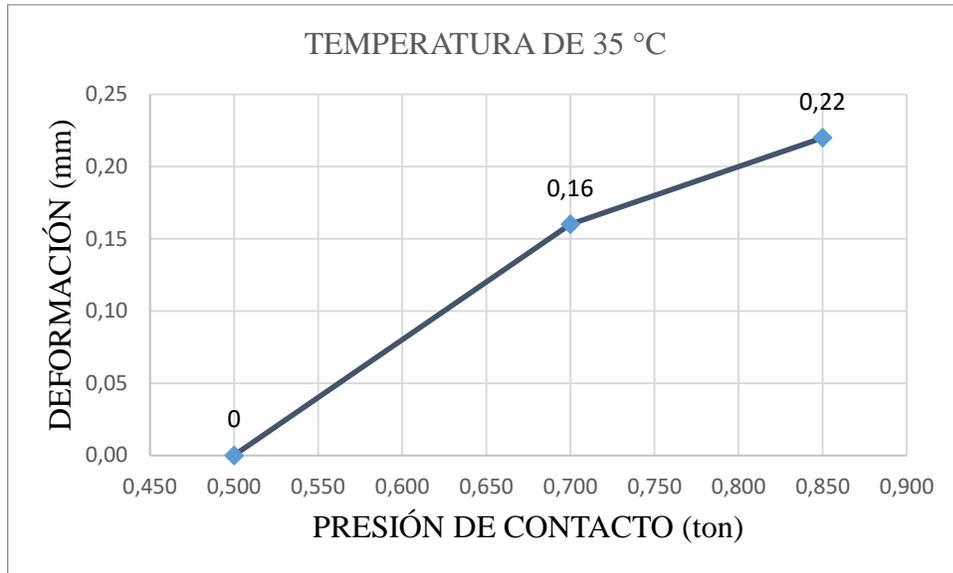
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.22 se puede observar deformación “0” en las tres muestras confinadas a una temperatura de 30°C superficiales, también se puede apreciar la presencia de la deformación a una temperatura superficial de 40°C para presiones de contacto livianas lo que sería la rueda de una camioneta según nuestra tabla 4.20, para la presión mediana y pesada comienza la deformación a partir de los 35°C superficiales, estos valores pequeños van aumentando según la temperatura superficial aumenta.

4.6. ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN BAJO CARGAS ESTÁTICAS A UNA CIERTA TEMPERATURA

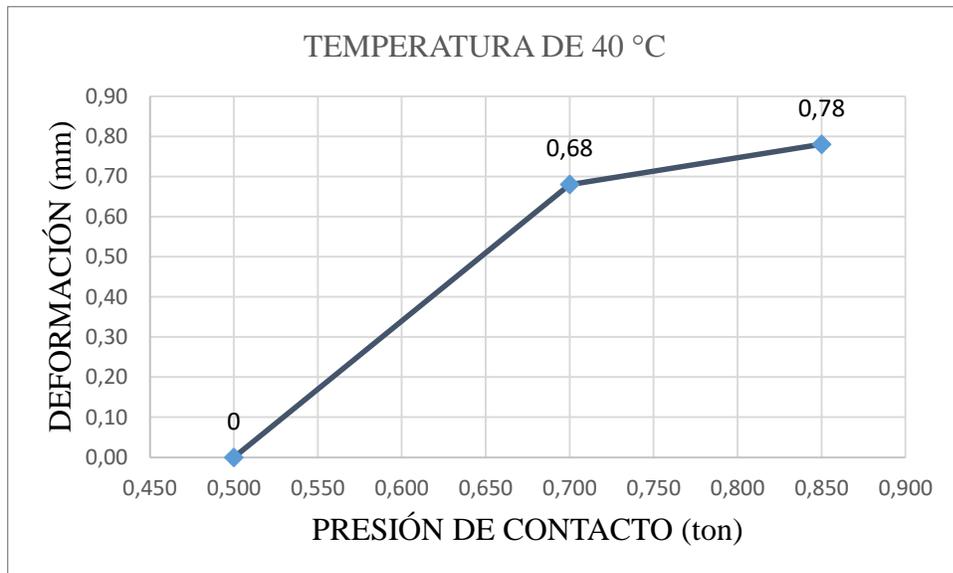
De igual manera aplicamos presiones sobre superficies confinadas generando deformaciones y sus variaciones a medida que la temperatura superficial aumentaba, las medidas correspondientes para estas gráficas fueron generadas a partir de las tablas 4.21 y tabla 4.22 a diferencia de las anteriores graficas a continuación observaremos deformaciones en mezclas asfálticas a partir de una presión estática bajo una determinada temperatura.

Gráfico N°: 4. 23 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 35°C
La Pintada



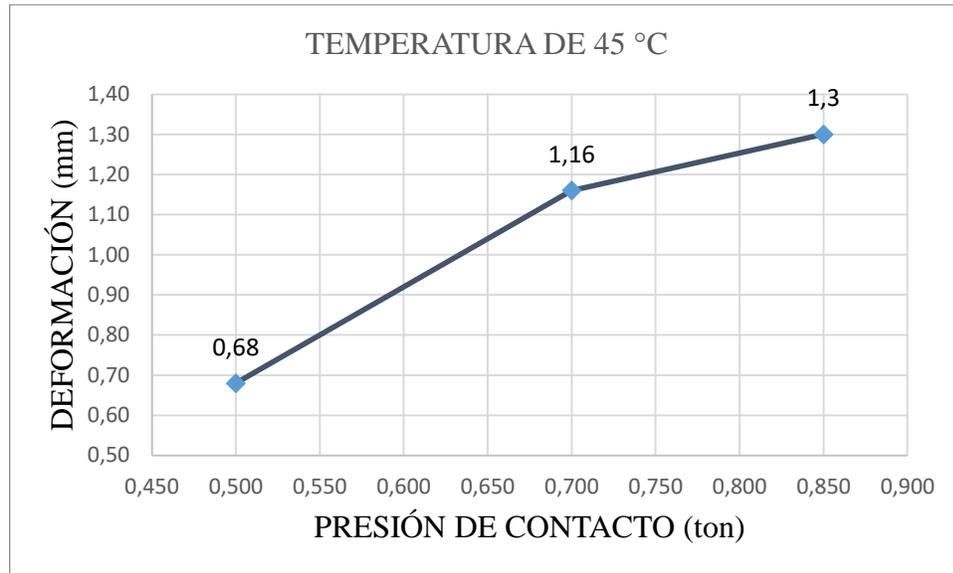
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 24 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 40°C
La Pintada



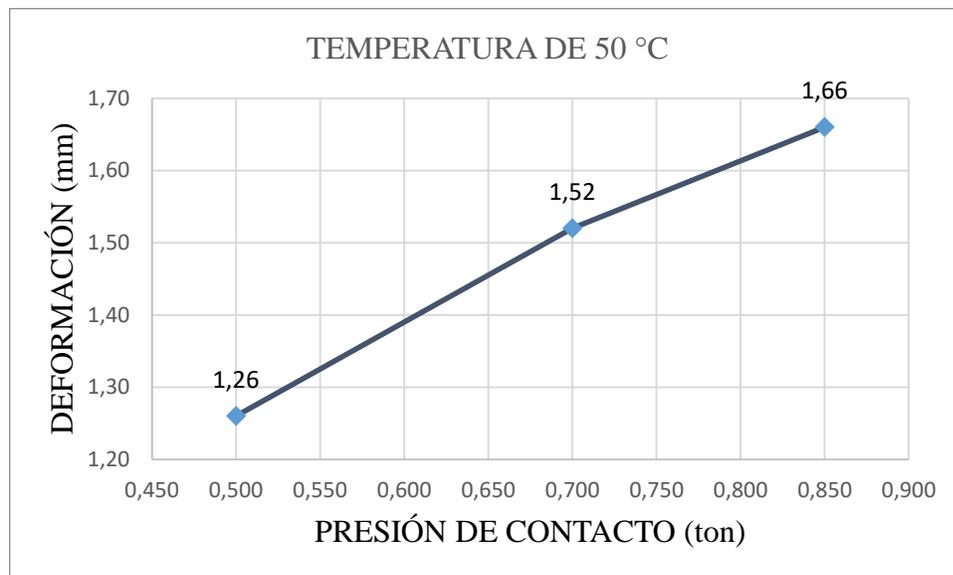
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 25 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 45°C
La Pintada



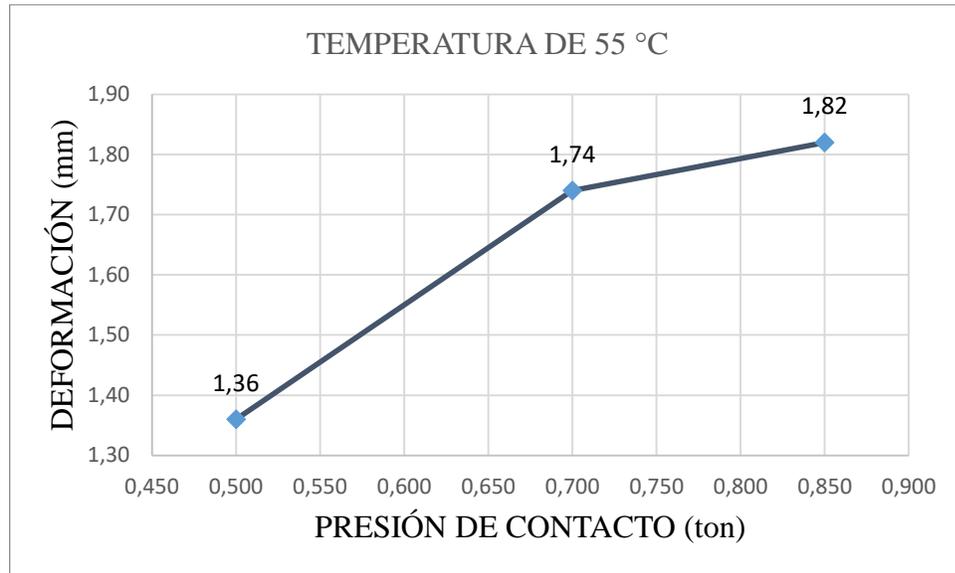
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 26 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 50°C
La Pintada



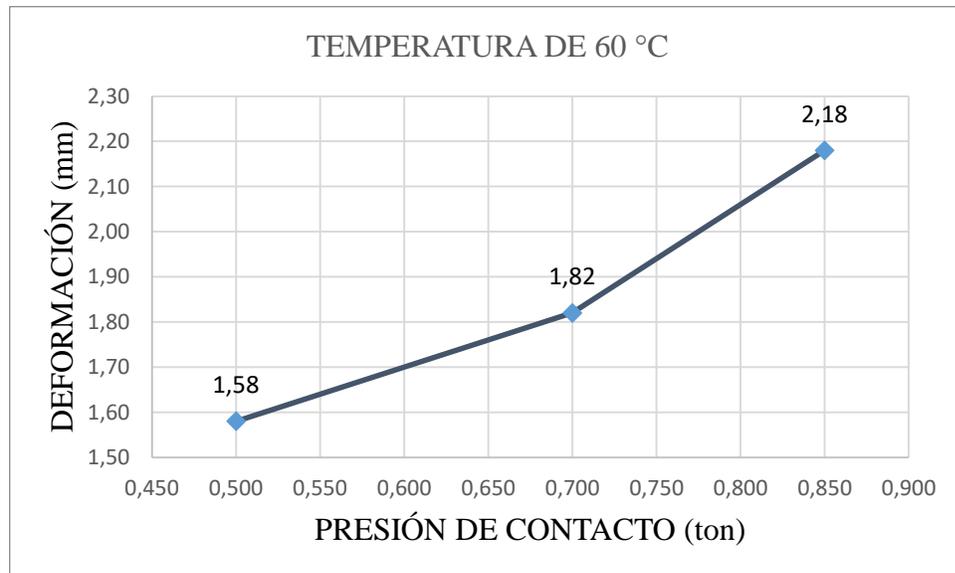
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 27 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 55°C
La Pintada



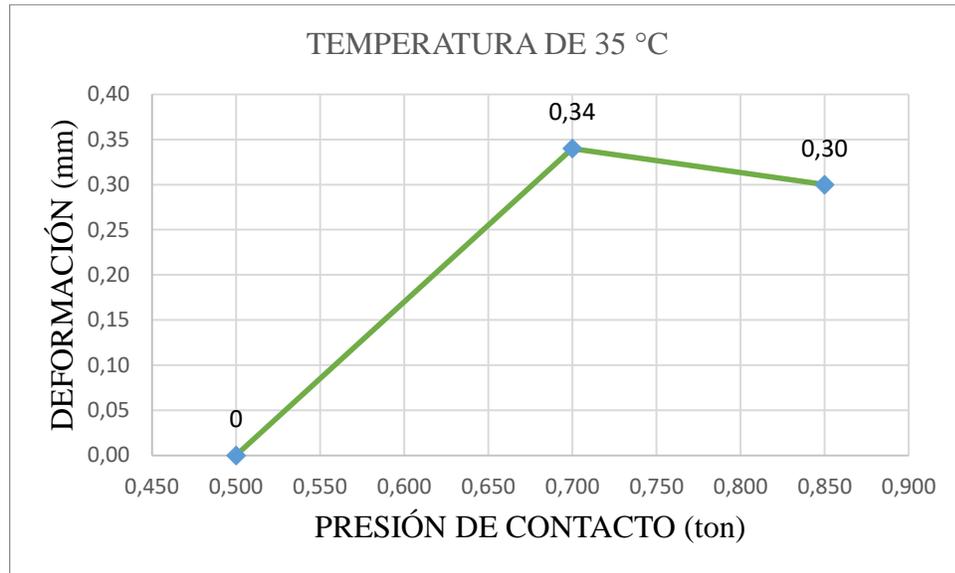
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 28 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 60°C
La Pintada



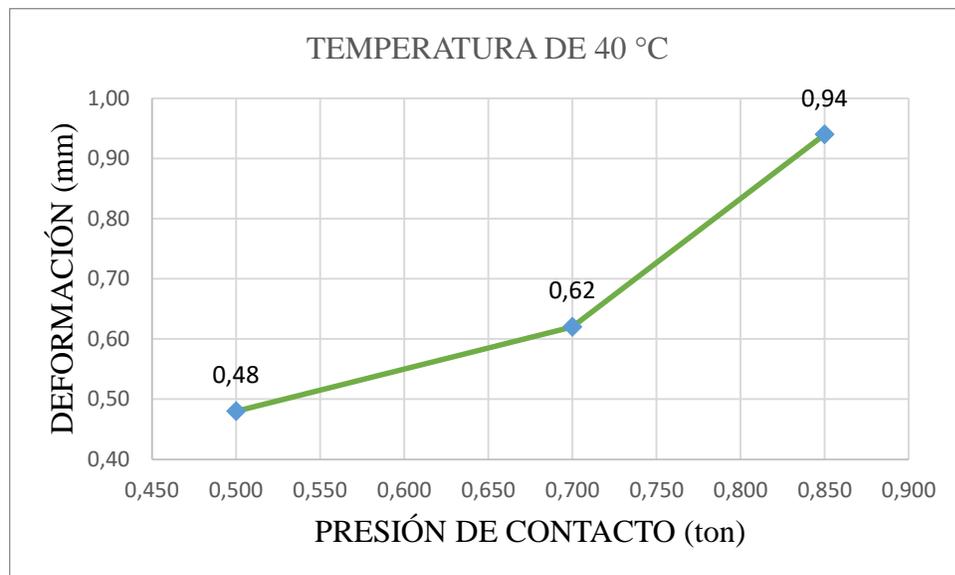
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 29 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 35°C
ERIKA



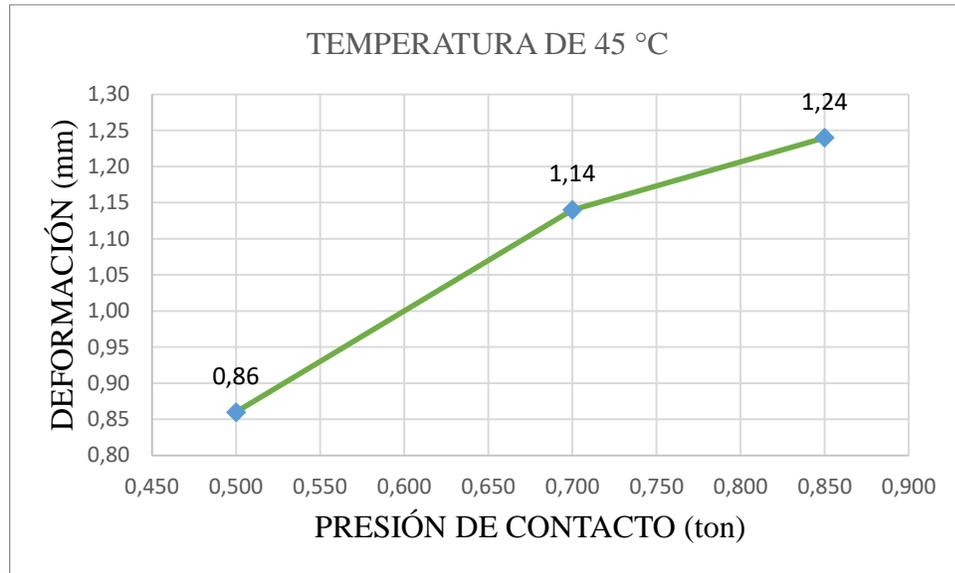
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 30 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 40°C
ERIKA



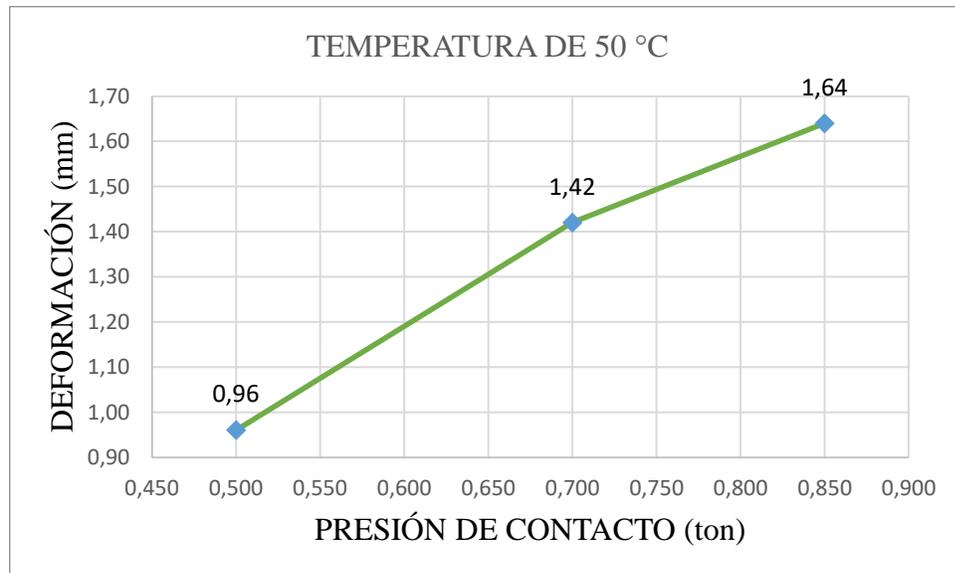
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 31 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 45°C
ERIKA



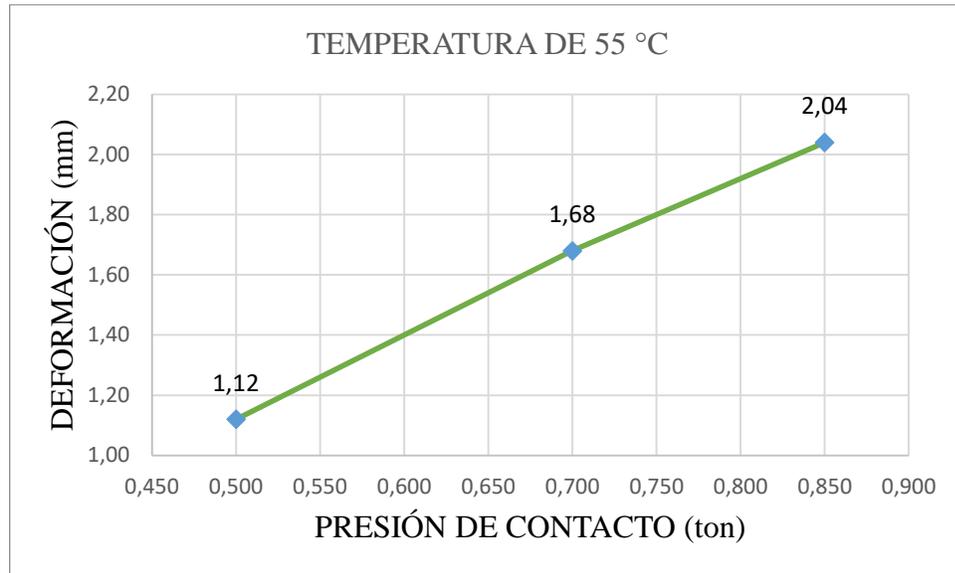
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 32 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 50°C
ERIKA



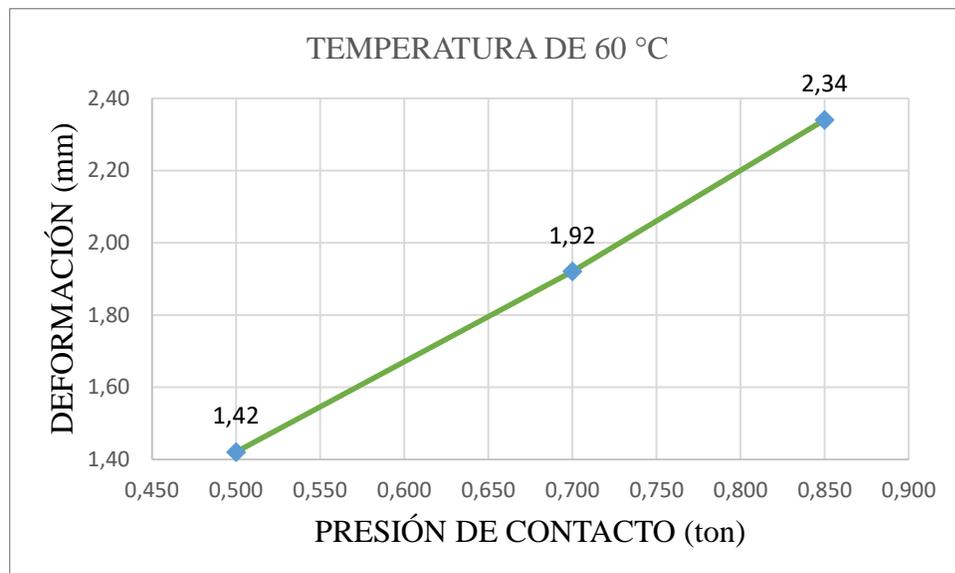
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 33 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 55°C
ERIKA



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°: 4. 34 Deformación vs Presión de contacto a una temperatura de 60°C
ERIKA



Fuente: Elaboración propia

Aclaración. – Cabe mencionar que no existieron deformaciones en ambas mezclas asfálticas a una temperatura de 30°C por lo tanto no se realizaron las gráficas.

En este análisis se efectuaron ensayos carga (0,500, 0,700 y 0,850 toneladas) y temperatura variable (30, 35, 40, 45, 50, 55, y 60°C) en briquetas confinadas fabricadas con materiales provenientes de dos plantas productoras de mezclas asfálticas de la región (Tarija-Cercado). Para ambos casos, a pesar de que las mezclas asfálticas cumplen con las especificaciones, su comportamiento frente a la deformación es diferente presentando a mayor temperatura mayor deformación para mezclas asfálticas provenientes de ERIKA con una deformación final de 2,34 mm para una relación de temperatura de 60°C y para La Pintada una deformación final de 2,18 mm para una relación de temperatura de 60°C, ambas bajo una carga de 0,850 toneladas.

De igual modo, a partir de los resultados obtenidos, se determina que las mezclas asfálticas presentan cambios en su comportamiento mecánico con la aplicación de un esfuerzo. Ellas describen un comportamiento viscoso no lineal a altas cargas, en este caso la máxima carga usada en ambas mezclas asfálticas fue 0,850 toneladas variando de 0,30 mm a 2,34 mm desde los 35 a 60°C para ERIKA y para la misma carga estática una deformación que varía de 0,22 mm a 2,18 mm desde los 35 a 60°C para La Pintada así mismo un comportamiento viscoso lineal a bajos niveles de carga, en este caso la mínima carga usada en ambas mezclas asfálticas fue de 0,500 toneladas teniendo una deformación de 0 a temperaturas de 30 y 35°C por efecto de temperatura la deformación fue apareciendo de 40°C hasta los 60°C esto para mezclas asfálticas de ERIKA, en el caso de La Pintada para una misma carga estática la deformación fue de 0 a temperaturas de 30, 35 y 40°C y por efecto de la temperatura se hizo presente la deformación a la temperatura de 45°C hasta los 60°C.

Con una sola carga se puede ver que la superficie de la mezcla asfáltica es deformable dependiendo la carga y temperatura a la que esta sea expuesta, lo que está claro es que no se presentó deformaciones medibles cuando ambas mezclas asfálticas eran calentadas superficialmente a 30°C y sometidas a las tres cargas estáticas (0,500, 0,700 y 0,850 toneladas), de 35°C hasta los 60°C pequeñas deformaciones tal y como se pueden observar en las gráficas presentadas anteriormente, así las mismas sean pequeñas éstas eran medibles y aún más visibles a la temperatura de 50°C, 55°C y 60°C respectivamente, si la temperatura seria mayor a la trabajada en este análisis (60°C) entonces las deformaciones aumentarían tal y como nos comprueban nuestras gráficas anteriores.

4.7. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Es preciso tener en cuenta que el costo de producción es uno de los indicadores más importantes a considerar en los proyectos de ingeniería. Por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de éstas, menos recursos se invertirán en su producción y, por consiguiente, menor será la cuantía de los gastos.

El costo de producción debe establecerse en el aprovechamiento de los recursos de los materiales, laborales y financieros en el proceso de producción porque estos determinan el nivel de ganancia que obtiene la organización.

Para el presente estudio se analiza los costos de producción de las mezclas asfálticas, dichos costos analizados no se incluye ningún valor por el concepto de utilidad porque lo que se pretende es determinar el costo neto de producción de la mezcla asfáltica convencional, entonces:

Tabla 4. 23 Composición de la mezcla ERIKA

Cálculo de la dosificación de la mezcla convencional	
Materiales	Porcentaje (%)
Agregado de 3/4" (25%)	23,71
Agregado de 3/8" (30%)	28,45
Arena (45%)	42,68
Filler natural (0%)	0
Cemento asfáltico	5,16

Fuente: Elaboración propia

Composición de la mezcla:

Agregado= 94,84%

Cremento asfáltico= 5,16%

Peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones= 2250kg/m³

Tabla 4. 24 Dosificación para 1m³ ERIKA

Material	Peso (kg)	Porcentaje (%)	Peso específico (kg/m³)	Volumen (m³)
Agregado de 3/4"	533,48	23,71	2690	0,198
Agregado de 3/8"	640,17	28,45	2710	0,236
Arena	960,26	42,68	2540	0,380
Filler natural	0	0	0	0
Cemento asfáltico	116,10	5,16	1003	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 25 Análisis de precios unitarios ERIKA

Análisis de precios unitarios						
Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico (mezcla convencional)						
Actividad: Colocado de carpeta						
Unidad: m3						
Cantidad: 1,00						
Tipo de cambio Bs/\$us:						6,96
	A	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs.)	Precio total (Bs.)
1	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m3	0,20	152,00	30,40
2	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m3	0,24	162,00	38,90
3	-	Arena	m3	0,38	145,00	55,10
4	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	116,10	10,29	1194,67
5	-	Diésel	lt	18	3,74	67,32
>	D	Total materiales			(A)	1386,39
	B	Mano de obra				
1	-	Obrero	Hr	0,07	15	1,05
2	-	Capataz	Hr	1,80	18	32,4
3	-	Chofer	Hr	0,00	16,44	0,00
4	-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,03	13,18	0,40
5	-	Operador de planta	Hr	0,09	24,85	2,24
6	-	Operador de equipo liviano	Hr	0,08	16,44	1,32
7	-	Operador	Hr	0,82	18,02	14,78
>	E	Subtotal mano de obra			(B)	54,2
	F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	38,58
	O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	13,86
>	G	Total mano de obra			(E+F+O)=	106,84
	C	Equipo maquinaria y herramientas				
1	-	Terminadora de asfalto	Hr	0,08	350	28,00
2	-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0,00	420,7	0,00
3	-	Compactador rodillo liso	Hr	0,04	304,66	12,19
4	-	Escoba mecánica autopropulsada	Hr	0,03	70,60	2,12
5	-	Planta calentamiento de asfalto	Hr	0,09	964,97	86,85
6	-	Compactador neumático TPS 10000	Hr	0,08	332,33	26,59
7	-	Volquete 12 m3 o 20 Tn	Hr	0,03	227,85	6,84
		Herramientas menores		5,00%	(G)	5,12
>	I	Total herramientas y equipos			(C+H)	167,70
>	J	Sub total			(D+G+I)	1660,93
>	L	Gastos generales y administrativos		15,50%	(J)	257,44
>	M	Parcial			(J+L)	1918,37
>	N	Utilidad		10,00%	(M)	191,837
>	Q	Total precio unitario			(M+N)	2110,21
>		Precio adoptado				2110,21

Son: Dos mil ciento diez con 21/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 26 Composición de la mezcla La Pintada

Calculo de la dosificación de la mezcla convencional	
Materiales	Porcentaje (%)
Agregado de 3/4" (25%)	23,73
Agregado de 3/8" (30%)	28,48
Arena (45%)	42,71
Filler natural (0%)	0
Cemento asfáltico	5,08

Fuente: Elaboración propia

Composición de la mezcla:

Agregado= 94,92%

Cemento asfáltico= 5,08%

Peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones= 2250kg/m³

Tabla 4. 27 Dosificación para 1m³ La Pintada

Material	Peso (kg)	Porcentaje (%)	Peso específico (kg/m³)	Volumen (m³)
Agregado de 3/4"	533,92	23,73	2700	0,198
Agregado de 3/8"	640,80	28,48	2700	0,237
Arena	960,98	42,71	2460	0,391
Filler natural	0	0	0	0
Cemento asfáltico	114,30	5,08	1003	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 28 Análisis de precios unitarios La Pintada

Análisis de precios unitarios						
Proyecto: Carpeta de concreto asfáltico (mezcla convencional)						
Actividad: Colocado de carpeta						
Unidad: m3						
Cantidad: 1,00						
Tipo de cambio Bs/\$us:						6,96
	A	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs.)	Precio total (Bs.)
1	-	Grava triturada clasificada 3/4"	m3	0,20	152,00	30,4
2	-	Grava triturada clasificada 3/8"	m3	0,24	162,00	38,88
3	-	Arena	m3	0,39	145,00	56,55
4	-	Cemento asfáltico 85-100	kg	114,30	10,29	1176,15
5	-	Diésel	lt	18,00	3,74	67,32
>	D	Total materiales			(A)	1369,30
	B	Mano de obra				
1	-	Obrero	Hr	0,07	15	1,05
2	-	Capataz	Hr	1,80	18	32,4
3	-	Chofer	Hr	0,00	16,44	0,00
4	-	Ayudante de maquinaria y equipo	Hr	0,03	13,18	0,40
5	-	Operador de planta	Hr	0,09	24,85	2,24
6	-	Operador de equipo liviano	Hr	0,08	16,44	1,32
7	-	Operador	Hr	0,82	18,02	14,78
>	E	Subtotal mano de obra			(B)	54,2
	F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	38,58
	O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	13,86
>	G	Total mano de obra			(E+F+O)=	106,64
	C	Equipo maquinaria y herramientas				
1	-	Terminadora de asfalto	Hr	0,08	350	28,00
2	-	Cargador frontal de ruedas	Hr	0,00	420,7	0,00
3	-	Compactador rodillo liso	Hr	0,04	304,66	12,19
4	-	Escoba mecánica autopropulsada	Hr	0,03	70,60	2,12
5	-	Planta calentamiento de asfalto	Hr	0,09	964,97	86,85
6	-	Compactador neumático TPS 10000	Hr	0,08	332,33	26,59
7	-	Volquete 12 m3 o 20 Tn	Hr	0,03	227,85	6,84
		Herramientas menores		5,00%	(G)	5,33
>	I	Total herramientas y equipos			(C+H)	167,70
>	J	Sub total			(D+G+I)	1643,64
>	L	Gastos generales y administrativos		15,50%	(J)	254,76
>	M	Parcial			(J+L)	1898,40
>	N	Utilidad		10,00%	(M)	189,84
>	Q	Total precio unitario			(M+N)	2088,24
>		Precio adoptado				2088,24

Son: Dos mil ochenta y ocho con 24/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo los siguientes resultados de precios unitarios para ambas mezclas asfálticas convencionales:

Tabla 4. 29 Costos de producción

N°	Descripción	Costo (Bs)
1	Mezcla asfáltica convencional ERIKA	2110,21
2	Mezcla asfáltica convencional La Pintada	2088,24

Fuente: Elaboración propia

Cambio de enfoque y aclaración:

Debido al cambio de enfoque del tema de ahuellamiento a deformación a carga estática se realizaron los siguientes cambios:

- Se quitó el valor de la fluencia del promedio para obtención del porcentaje de cemento asfáltico óptimo de ambas mezclas.
- Con un nuevo porcentaje de cemento asfáltico óptimo se realizaron 42 briquetas nuevamente para ser sometidas a carga estática.
- Para la obtención de carga por rueda se distribuyó 80% para el eje trasero y 20% para el eje delantero del peso total.
- Se cambió la fórmula del área para la obtención de cargas, la cual era anteriormente la de un rectángulo por el área de un círculo:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Obteniendo de esta manera nuevas cargas.

- Se realizó nuevamente el proceso de confinamiento, calentado, carga estática y medición de las muestras.
- Debido a todos estos cambios se modificaron tablas de resultados y gráficas para este capítulo.
- Se quitó la relación temperatura ambiente y temperatura superficial, trabajando solamente con la temperatura superficial de la muestra.

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Una vez concluido el análisis se obtuvo las siguientes conclusiones:

- El cemento asfáltico con el que se trabajó presenta resultados que cumplen con las especificaciones técnicas para un cemento asfáltico STRATURA 85/100 de procedencia brasilera tal como se puede ver en el siguiente cuadro de resultados:

Ensayo	Especificaciones técnicas		Resultados	Norma
	mínimo	máximo		
Penetración	85	100	92 dm/mm	ASTM D 5, AASHTO T 49-97
Ductilidad	100	-	105 cm	ASTM D 113. AASHTO T 51-00
Punto de inflamacion	232	-	268 °C	ASTM D 1310-01, AASHTO T 79-96
Punto de ablandamiento	43	53	44 °C	ASTM D 36, AASHTO T 53-96
Pérdida de masa	-	1%	0,64%	ASTM D 175, AASHTO T 179-05
Peso específico	1	1,05	1,003 gr/cm ³	ASTM D 71, AASHTO T 229-97
Viscosidad Saybolt Furol a 135°C	85	-	138 seg	ASTM D 244

cumpliendo con parámetros de consistencia, pureza y seguridad.

- Mediante una relación se obtuvo carga estática con la rueda tipo que simula el peso de una rueda real, las mismas fueron 0,500 toneladas (liviano), 0,700 toneladas (semi-pesado) y 0,850 toneladas (pesado) sobre mezclas asfálticas confinadas con temperaturas de calentado superficiales que variaron de 30 a 60°C en intervalos de 5°C.
- Al aplicar carga estática de **0,500 toneladas** (vehículo liviano) se puede verificar que las deformaciones para muestras de ERIKA varían de **0,48 a 1,42 mm** para una relación de temperatura superficial de **40 a 60°C**, así mismo la deformación para

muestras de La Pintada varían de **0,68 a 1,58 mm** para una relación de temperatura superficial de **45 a 60°C**.

- Al aplicar carga estática de **0,700 toneladas** (vehículo semi-pesado) se puede verificar que las deformaciones para muestras de ERIKA varían de **0,34 a 1,92 mm** para una relación de temperatura superficial de **35 a 60°C**, así mismo la deformación para muestras de La Pintada varían de **0,16 a 1,82 mm** para una relación de temperatura superficial de **35 a 60°C**.
- Al aplicar carga estática de **0,850 toneladas** (vehículo pesado) se puede verificar que las deformaciones para muestras de ERIKA varían de **0,30 a 2,34 mm** para una relación de temperatura superficial de **35 a 60°C**, de igual forma la deformación para muestras de La Pintada varían de **0,22 a 2,18 mm** para una relación de temperatura superficial de **35 a 60°C**.
- Las mezclas asfálticas compuestas por material pétreo proveniente de ERIKA resultan ser más propensas a deformarse por carga estática que las muestras de La Pintada esto solo cuando el vehículo es semi-pesado o pesado, bajo las mismas condiciones de temperatura.
- Se pudo verificar que para ninguna de las cargas aplicadas en este análisis existió deformación a la temperatura superficial de 30°C de calentado superficial.

5.2. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el respectivo análisis se tiene las siguientes recomendaciones:

- Calentar bien las muestras confinadas en horno y comprobar las temperaturas mediante un termómetro superficial sobre la zona de contacto antes de ser sometidas a determinadas cargas.
- Verificar que la rueda de la prensa no tenga contacto con los bordes del molde de confinamiento para evitar errores en mediciones de deformación y carga.
- La presión ejercida por la rueda deberá ser totalmente vertical y estática a la superficie de la muestra asfáltica confinada.
- Para un confinamiento total se deberá usar los moldes con los cuales se hicieron las muestras para evitar espacios que produzcan fisuras al interior de la muestra al momento de ejercer la presión estática.

BIBLIOGRAFIA

Asamblea Legislativa Plurinacional (2003), *“Ley de control de pesos y dimensiones vehiculares en la red vial fundamental”*, Bolivia.

ASPHAT INSTITUTE MS-22 (1923). *“Principios de Construcción de Mezclas Asfálticas en caliente”*, Cap. 3 Pág. 57

Cortez J. M., Guzmán H. W., Reyes A. D., (2007), *“Guía Básica de Diseño, Control de Producción y Colocación de Mezclas Asfálticas en Caliente”*, El Salvador.

Invias. Norma I.N.V.E.-756, (1998), *“Resistencia a la Deformación Plástica de Mezclas Asfálticas mediante la Pista de ensayo”*, Bogotá.

Manuel de carreteras (2009) *“V4A – ABC Suelos y materiales Asfaltos”* Normas ASTM.

Morea F., (2011), *“Deformaciones Permanentes en Mezclas Asfálticas”*, Argentina.

Reyes O., Reyes F. y Troncoso J., (2005), *Efecto de la presión de contacto y la temperatura en la deformación permanente de una mezcla asfáltica*, 1er Ed, Colombia.